

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Návrh a praktická realizace elektronického servořízení

Design and Practical Realization of Electronic Servo Steering

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Formánek**
Studijní program: N3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906T007 Automobilová elektronika
Téma: **Návrh a praktická realizace elektronického servořízení**
Design and Practical Realisation of Electronics Servosteering

Zásady pro vypracování:

1. Na základě specifikace vedoucího diplomové práce proveďte teoretický návrh celkové koncepce elektronického servořízení.
2. Dle stanovených parametrů vyberte vhodný typ pohonu a prakticky realizujte základní šasi pro zprovoznění pohonu a vývoj řídicího programu.
3. Na realizovaném vzorku servořízení proveďte vývoj řídicího programu a navrhnete možnosti pro další integraci servořízení do struktury vozidla.

Seznam doporučené odborné literatury:


- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6.
VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9.
ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004.
ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1.
RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3.
BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2009.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Noskovič, CSc.
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne

.....

Podpis studenta

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, připomínky a věnovaný čas při vypracování této práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a praktickou realizací systému elektronického servořízení. Úvodní část práce se zaměřuje na základní popis v současnosti využívaných systémů servořízení. Na základě těchto poznatků byl vybrán nejvhodnější systém servořízení. V další části práce jsou teoreticky popsány komponenty navrhovaného řešení. Na teoretický popis navazuje praktická část. V praktické části je proveden návrh parametrů jednotlivých komponentů. Dále je proveden detailní popis konkrétních součástí systému servořízení společně s popisem uvedení do provozu. Následuje popis základního obslužného programu. Závěr práce se zabývá možností další integrace systému servořízení do struktury vozidla.

Klíčová slova

Krokový motor, kontrolér krokového motoru, lineární vedení, RS485, Servořízení, TWR PXS20, Vestavný řídicí systém.

Abstract

This diploma thesis concerns with Design and Practical Realization of Electronic Servo Steering. The introduction focuses on the basic description of nowadays mostly used types of servo steering. The suitable system of servo steering was chosen on the results of these findings. In the following part of the thesis all components of proposed solution were theoretically described. Theoretical description is followed by the practical part. In the practical part the proposal of the parameters of each part of servo steering is implemented. Subsequently, the detailed description and launching of individual parts of the servo steering system are implemented. Description of the controlling service follows. The thesis is concluded with the adaptation of the servo steering system into structure of the vehicle.

Key words

Stepper motor, Stepper Motor Driver, Linear actuator, RS485, Servo steering, TWR PXS20, Embedded system.

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Současné způsoby řešení servořízení	11
2.1	Konstrukční provedení řízení.....	12
2.1.1	Hřebenové řízení	12
2.1.2	Maticové řízení	12
2.1.3	Šnekové řízení	13
2.1.4	Řízení s otočným segmentem	13
2.1.5	Řízení s lineárním pohonem	14
2.2	Pohon servořízení	14
2.2.1	Hydraulický pohon	14
2.2.2	Pohon elektromotorem	15
2.3	Aktivní řízení	15
3.	Volba koncepce servořízení	17
4.	Krokové motory	18
4.1	Konstrukce krokového motoru	18
4.2	Dělení krokových motorů	19
4.3	Řízení krokových motorů	19
4.3.1	Řízení s unipolárním napětím.....	20
4.3.2	Řízení s bipolárním napětím.....	21
4.4	Mikrokrokování	22
5.	Ovladač krokového motoru.....	23
6.	Komunikace s nadřazeným systémem	24
6.1	Rozdělení komunikačních rozhraní	24
6.2	Sériové komunikační rozhraní	25
6.2.1	Rozhraní RS232.....	25
6.2.2	Rozhraní RS422.....	25
6.2.3	Rozhraní RS485.....	26
7.	Návrh parametrů lineárního vedení a motoru	27
7.1	Výpočet požadovaných hodnot.....	27
7.2	Výpočet dosažitelných hodnot.....	28
7.3	Porovnání hodnot získaných výpočty, zhodnocení.....	30
8.	Lineární vedení.....	32

9. Krokový motor s enkodérem.....	33
9.1 Enkodér US Digital E2	33
10. Kontrolér R356.....	35
10.1 Základní specifikace R356.....	36
10.2 Připojení kontroléru R356	38
10.3 Nastavení připojení R356 k PC	39
10.4 Programování R356	40
10.5 Funkce kontroléru jako výkonového stupně	42
10.6 LinControl.....	42
10.6.1 Vytvoření a spuštění sady příkazů.....	44
10.7 LinCommand	45
11. Nadřazený řídicí systém s TWR PXS20	48
11.1 Modul TWR PXS2010.....	49
11.1.1 Fyzické připojení RS485	51
11.2 Freescale MQX.....	52
12. Obslužný program.....	52
12.1 Funkce pro inicializaci R356, zápis a čtení na RS485.....	52
12.2 Funkce pro výpočet příkazu na základě požadavků	55
13. Sestava servořízení.....	56
14. Možnosti další integrace servořízení do struktury vozidla	57
15. Závěr	58
16. Citovaná literatura.....	59
17. Seznam příloh.....	61

Seznam použitých zkratk a symbolů

ACC	Active Cruise Controll – aktivní tempomat
ABS	Anti Block System – systém zamezení blokování kol při brzdění
ADC	Analog to Digital Converter – převodník za analogového na digitální signál
ASCII	American Standard Code for Information Interchange – kódová tabulka definující znaky abecedy
BPS	Bit Per Second – bitů za vteřinu
CAN	Controller Area Network – typ datové komunikační sběrnice
CRC	Cyclic Redundancy Check – cyklický redundantní součet, detekce chyb během přenosu nebo ukládání dat
DB-15	konektor s 15 piny vyvinutý firmou ITT Cannon
DCS	Dynamic Stability Controll – Jízdní stabilizační systém
DSPI	Serial Pheriphetial Interface – sériové periferní rozhraní
ECC	Error Code Correcting memory – Opravná paměť
ESP	Electonic Stability Program – elektronický stabilizační systém
eDMA	Direct Memory Acces – přímý přístup do paměti
FlexCAN	modul sběrnice CAN na PXS20
FlexPWM	modul řízení PWM na PXS20
FlexRay	modul sběrnice FlaxRay na PXS20, typ datové sběrnice
GND	Ground – elektrické uzemnění, kostra zařízení,
I/O	IN/OUT – vstupně/výstupní rozhraní
KM	krokový motor

LIN	Local Interconnect Network – typ sběrnice a komunikace sériové sítě
LINFlexD	modul sběrnice LIN na PXS20
MIPS	Million Instruction Per Second – milión instrukcí za vteřinu
LED	Light emitting diode – dioda emitující světlo
NC	Numerical Control – číslicové ovládání
PC	Personal Computer – osobní počítač
PIT	Periodic Interrupt Timer – časovač periodického přerušení
pps	pulse per second – pulsů za vteřinu
PWM	Pulse Width Modulation – pulzní šířková modulace
RS485	standard sériové komunikace
RWW	Read While Write – paměť umožňující uložení zdrojového kódu a dat na jedné Flash paměti

1. Úvod

Současný trend vývoje automobilů vede k systémům, které budou řidiči ulehčovat řízení vozidla, nebo dokonce převezmou obsluhu jednotlivých částí plně do své režie. V dnešní době se můžeme setkat především se systémy ulehčujícími řízení vozidla. Jedná se zejména o systémy posilovačů (brzd, řízení), dále také systémy stabilizační (ABS + ESP), systémy regulace rychlosti (tempomat, ACC), automatické převodovky aj. S plně automatickými systémy se můžeme setkat v oblasti komfortních systémů, např. automatická klimatizace. Výše uvedené systémy se vyznačují podobnou strukturou. Na začátku systém snímá z prostředí vstupní informace pomocí snímačů a akčních členů. Informace jsou předávány do řídicího systému, kde jsou zpracovány, a výsledky převedeny pomocí akčních členů na akční zásah zpět do prostředí.

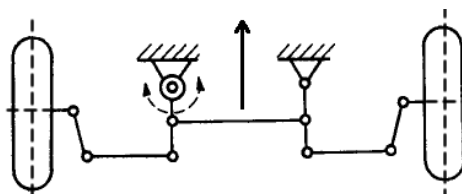
V nedávné minulosti se začaly objevovat i systémy, které by mohly kompletně převzít funkci i takových systémů, jako jsou řízení a brzdy. Propojení řidičem ovládaných prvků s akčními prvky zařízení je provedeno elektrickým vedením. Jedná se o systémy X-BY-WIRE. Takto řešeny mohou být brzdy (BRAKE-BY-WIRE) i řízení (STEER-BY-WIRE). Výhodou těchto systémů je pouze částečná závislost na řidiči. Tak je možné, např. v krizových situacích, provést takové úkony a synchronizaci jednotlivých systémů, kterých by řidič nebyl běžně schopen. O dalším využití těchto systémů je možné uvažovat při budoucí automatizaci řízení pozemní dopravy.

I když mají tyto systémy budoucnost, je nejdříve nutná změna legislativy, jelikož „homologační zákony“ předepisují pevné vazby ovládacích prvků a akčních členů důležitých systémů, kterými brzdy i řízení jsou.

Tato práce se zabývá návrhem a realizací nezávislého systému řízení (servořízení) pracujícího na principu Steer by Wire. Práce obsahuje teoretický návrh a následný výběr samotného principu řízení, dále také návrh komponentů a realizaci v podobě sestavení systému. Dále práce popisuje vytvoření základního obslužného softwaru, který ve spojení s mikroprocesorem tvoří vestavný řídicí systém servořízení. Závěr práce pojednává o další možné integraci funkce servořízení do struktury vozidla a o možnosti dalších funkčních rozšíření.

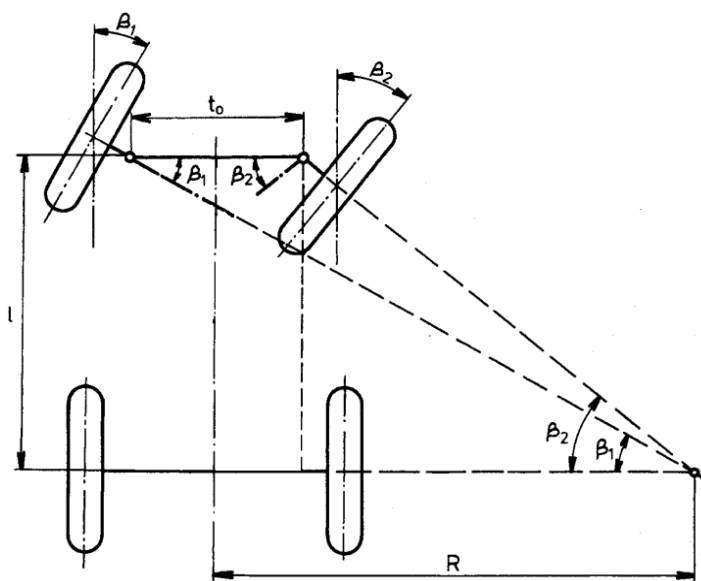
2. Současné způsoby řešení servořízení

Systém servořízení se skládá z několika částí. Základní částí je převodka řízení, která slouží k převodu otáčivého pohybu volantu na posuvný pohyb natáčející kola. Další částí řízení je mechanismus řízení (obr. 1), který zajišťuje přenášení sil mezi převodkou řízení a koly, které se natáčí.



Obr. 1 Mechanismus řízení

Mechanismus musí splňovat určité geometrické podmínky, aby se kola při natočení nesmýkala, ale odvalovala. Dosaženo je toho konstrukcí mechanismu řízení, která zajišťuje, že osa každého kola svírá s osou vozidla při natočení jiný úhel (viz obr. 2). Jedná se o tzv. Ackermanovu geometrii řízení.[1]



Obr. 2 Ackermanova geometrie řízení [1]

Další částí řízení je spojení volantu a převodky řízení. To je provedeno pomocí volantové tyče. Ta může být jednodílná, ale z důvodů bezpečnosti je používána vícedílná s kloubovými spoji a teleskopickým mechanismem. V případě nehody tak tyč absorbuje pohyb převodky řízení směrem do kabiny vozidla a nehrozí vniknutí tyče řízení do prostoru pro posádku.

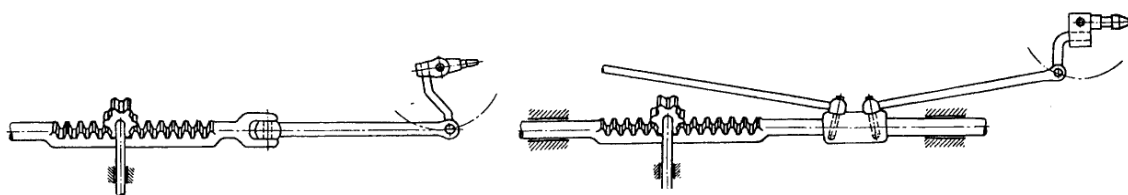
V neposlední řadě je nutné také uvést druhy pohonu posilovače řízení (servořízení). V dnešní době jsou vozidla standardně vybavována posilovačem řízení. Dříve využívaný systém hydrogenerátoru poháněného od motoru ve spojení s hydraulickým válcem byl postupně nahrazován systémem s hydrogenerátorem poháněným elektromotorem a hydraulickým válcem, až v dnešní době převládly systémy s připojením elektromotoru přes redukční převodovku přímo k mechanismu řízení (ať již k tyči řízení nebo k převodce řízení).

2.1 Konstrukční provedení řízení

Při návrhu servořízení můžeme uvažovat o výběru z několika typů konstrukčních řešení. Jedná se zejména o typy, které vycházejí z jednotlivých konvenčních systémů řízení.

2.1.1 Hřebenové řízení

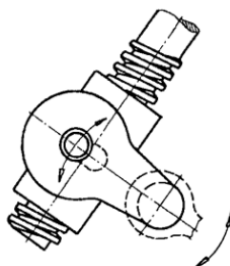
Jedná se o v dnešní době nejčastěji používaný typ řízení v osobních automobilech. Obě kola jsou spojena pomocí táhel řízení a hřebenové tyče. Jednotlivé spoje jsou provedeny kloubovou vazbou umožňující vzájemné naklápění. Do ozubené hřebenové tyče zapadá pastorek, který je spojen pomocí tyče řízení s volantem. Pastorek posouvá při otáčení volantem hřebenovou tyč. Posuvný pohyb hřebenové tyče je převáděn pomocí táhel řízení na páky kol. Na obr. 3 vidíme možnosti přichycení kulových čepů táhel řízení k hřebenu.



Obr. 3 Hřebenové řízení [1]

2.1.2 Maticové řízení

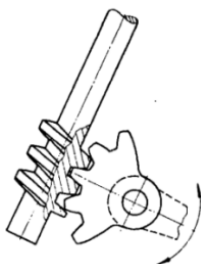
Na spodním konci tyče řízení je vytvořeno vřeteno šroubovitého tvaru. Na vřetenu je posuvně uložena matice. Matice je zajištěna proti otáčivému pohybu, a tak při otáčení tyčí řízení koná posuvný pohyb. Tento pohyb je převáděn na páky řízení, která je uložena otočně. Posuvný pohyb je dále veden pomocí táhel řízení na páky kol.



Obr. 4 Maticové řízení [1]

2.1.3 Šnekové řízení

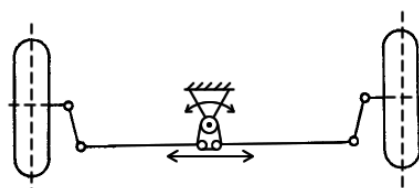
Podobně jako u maticového řízení je u šnekového řízení ukončena řídící tyč vřetenem šroubovitého tvaru. Do vřetene zasahuje ozubený segment, který je součástí páky řízení. Při otáčení tyči řízení se ozubený segment otáčí (obr. 5) a jeho pohyb je převáděn pomocí mechanismu řízení (obr. 1) na páky kol.



Obr. 5 Šnekové řízení [1]

2.1.4 Řízení s otočným segmentem

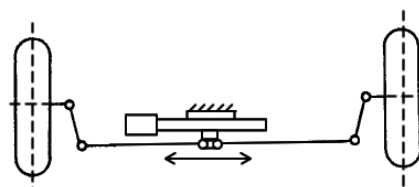
Tento typ řízení je využíván především u čtyřkolek. Princip řízení je velice jednoduchý. Segment, do kterého jsou připevněny kulové čepy táhel řízení, je pevně spojen s tyčí řízení. Pokud tedy tyčí řízení pootočíme, pootočí se i segment a pomocí táhel řízení je tento pohyb převeden i na páky kol. Z důvodů malého úhlu natočení tyče řízení není konec řídící tyče vybaven volantem, ale řídítky.



Obr. 6 Řízení s otočným segmentem

2.1.5 Řízení s lineárním pohonem

Řízení s lineárním pohonem je blízké hřebenovému řízení s umístěním čepů táhel řízení v jednom místě na hřebenové tyči. Hřebenový mechanismus je však nahrazen šroubovým lineárním pohonem. Ten pohání posuvnou matici (vozík), na které jsou připevněny čepy táhel řízení.



Obr. 7 Řízení s lineárním pohonem

2.2 Pohon servořízení

Jak již bylo dříve uvedeno, systémy řízení jsou v dnešní době doplněny posilovačem řízení. Posilovač řízení snižuje sílu, kterou musí řidič vynaložit při otáčení volantem. U osobních vozidel rozlišujeme posilovače hydraulické, elektrohydraulické a elektronické.

2.2.1 Hydraulický pohon

Pomocná síla působící společně se silou řidiče na otáčení kol je vytvářena působením tlaku kapaliny na píst, který je spojen s ozubenou tyčí řízení – hřebenem. Rozdělovač tlaku je systém uložený v místech pastorku v převodce řízení. Rozdělovač tlaku je tvořen systémem kanálků, které v závislosti na natočení torzního členu uvnitř rozdělovače tlaku propouští tlak kapaliny na jednu, nebo druhou stranu pracovního pístu. Hydraulický a elektrohydraulický posilovač řízení využívá k vytvoření tlaku kapaliny hydrogenerátor.

V případě staršího systému je hydrogenerátor poháněn spalovacím motorem. Hydrogenerátor bývá umístěn v oblasti pohonných řemenů, které pohánějí i další komponenty, např. kompresor klimatizace, alternátor, vodní pumpu, kompresor přepřehování aj. Otáčky hydrogenerátoru jsou přímo závislé na otáčkách spalovacího motoru, a tak je tlak pracovní kapaliny a tím i posilovací účinek závislý na otáčkách motoru těžko regulovatelný.

Naopak u systému elektrohydraulického je hydrogenerátor poháněn elektromotorem, který bývá součástí hydraulické jednotky, a celý pohon je nezávislý na otáčkách motoru. Dále bývá systém vybaven i snímačem úhlu natočení volantu. Systém může být připojen i ke komunikační sběrnici, a tak regulovat posilovací účinek na základě více parametrů. Je tak možné plynně regulovat tlak pracovní kapaliny, a tím i velikost posilovací síly.

Velikost posilovacího účinku je možné regulovat pomocí napájení elektromotoru. Můžeme tedy dosáhnout stavů, které nebylo v předchozím případě možné realizovat. Uvedme například velikost posilovacího účinku při malých rychlostech. V tomto případě je účinek posilovače vysoký, usnadňuje parkování a manévrování, volantem lze zlehka otáčet. Naopak při vyšších rychlostech je velikost posilovacího účinku snížena až k nule. Při vyšších rychlostech je tak řízení tužší a nedovoluje lehkým pohybem provést rychlý pohyb.

2.2.2 Pohon elektromotorem

V případě elektronického posilovače řízení je síla působící společně se silou řidiče na otáčení koly vytvářena elektromotorem a přiváděna přímo na mechanismus řízení přes mechanický převod. Elektromotor může působit svojí silou na tyči řízení ve sloupku řízení, nebo přes pastorek na hřeben řízení. Při působení na hřeben řízení můžeme rozlišovat verze servořízení s jedním a dvojím pastorkem. V případě použití řízení s jedním pastorkem je síla elektromotoru přivedena na pastorek, který je zároveň připojen k tyči řízení. U varianty se dvěma pastorky je na jedné straně hřebenového řízení pastorek připojený k tyči řízení a na druhé straně hřebenu je pastorek připojený k elektromotoru.

I v tomto případě pohonu servořízení je velikost posilovacího účinku regulovatelná. Mezi volantem a převodkou řízení je měřen úhel natočení volantu a moment řízení. Stejně, jako elektrohydraulické servořízení, tak i elektronické servořízení reguluje velikost posilovacího účinku na základě vstupních informací (rychlost vozidla, úhel natočení volantu...).

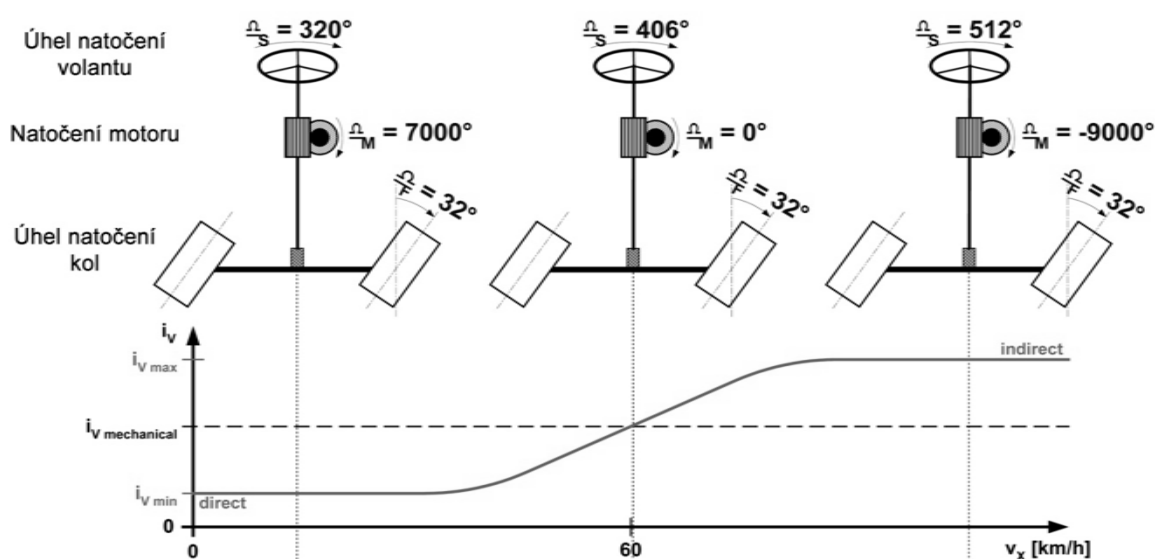
2.3 Aktivní řízení

Další článek ve vývoji systému řízení tvoří aktivní systém řízení, který kombinuje technologii Steer by Wire s technologií elektronického servořízení. Aktivní řízení

automaticky přizpůsobuje převodový poměr řízení v závislosti na rychlosti automobilu. Aktivní řízení je charakterizováno modulem, který je vložen mezi řídící tyč jdoucí od volantu a převodku řízení. Modul je tvořen planetovou převodovkou, která je ovládána pomocí volantu a elektromotoru s řídící jednotkou. [2]

Při nižších rychlostech je převod řízení nižší, což umožňuje pohodlnější manévrování v městském provozu a parkování. Při nízkých rychlostech je zatáčení z jedné polohy do druhé realizováno menším počtem otáček. U konvenčního řízení je převodový poměr kolem 18:1, kdežto u aktivního řízení může být tento poměr měněn z 10:1 až po převodový poměr 25:1. Při parkování tak stačí pro otočení kol z jedné krajní polohy do druhé dvě otáčky volantem. [2]

Naopak při vyšších rychlostech je převod řízení vyšší, a tak je dosaženo menšího důsledku pootočení kol vůči volantu, což přispívá ke směrové stabilitě vozidla. Řidič se tak nemusí obávat, že by prudký pohyb volantem znamenal ztrátu kontroly nad vozidlem. [2]



Obr. 8 Změna převodu řízení i_v aktivního řízení [2]

Kromě většího pohodlí podporuje aktivní řízení i aktivní bezpečnost. Ve spojení se systémem ESP může v kritických situacích (jako je např. kluzká silnice, silný boční vítr, brzdění na rozdílném povrchu) systém natočit kola nezávisle na řidiči tak, aby byl vůz stabilizovaný ještě před tím, než zareaguje řidič. Jedná se o tzv. superpoziční aktivní řízení přední nápravy. To je charakterizováno tím, že k řidičem zadanému úhlu natočení kol je případně superponován i další úhel v závislosti na požadavcích regulátoru ESP. [2]

3. Volba koncepce servořízení

Na základě uvedených informací o typech používaných servořízení rozhodneme o použití ideální koncepce servořízení pro naše potřeby využití ve čtyřkolovém vozidle. Z pohledu minimální konstrukční náročnosti na úpravu stávající konstrukce vozidla bylo rozhodnuto o využití lineárního pohonu servořízení. Výhodou využití této koncepce je také možnost umístění hnacího motoru přímo na těleso lineárního pohonu. Odpadá tak i úprava konstrukce vozidla z důvodu umístění hnacího motoru a jeho propojení se systémem řízení. Tyče řízení budou připojeny přímo k vozíku lineárního vedení pomocí nástavce, do něhož budou přišroubovány konce tyčí vybavené čepy.

Při zvažování nároků na pohon a z pohledu jeho řízení, regulace a přesnosti je nejvhodnější využít krokový motor. Při použití vhodného stoupání šroubu lineárního pohonu v kombinaci s určitým typem krokového motoru je možné docílit potřebných sil pro natočení kol.

Řízení krokového motoru bude obstarávat inteligentní budič. Ten umožní uložení základního programu ve své paměti (inicializace, nastavení počátečních hodnot) a také komunikaci s nadřazeným systémem. Přenos informací bude proveden skrze komunikační sběrnici, která propojí inteligentní budič s nadřazeným systémem.

V nadřazeném systému poběží řídicí program, který bude zpracovávat požadavky na řízení a pomocí příkazů ovládat inteligentní budič.

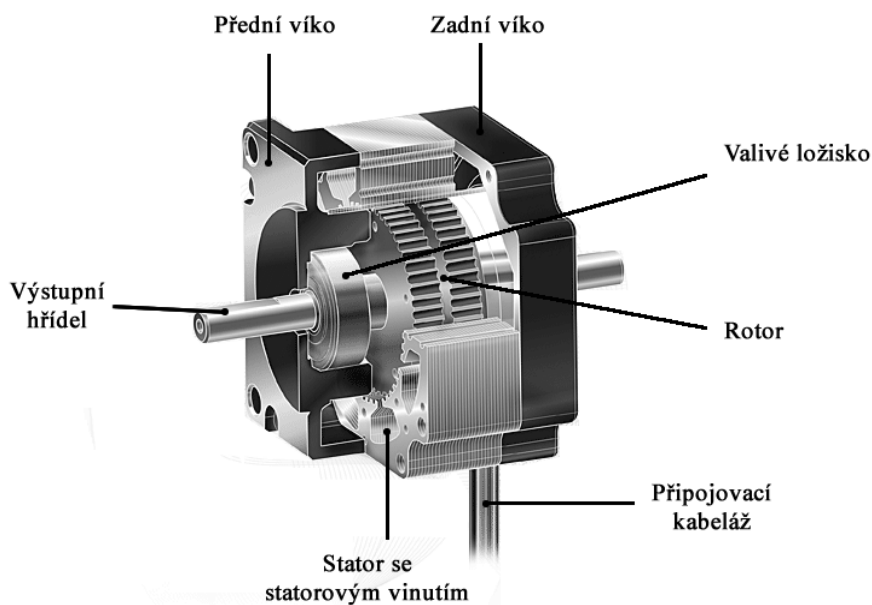
4. Krokové motory

Krokové motory se v současné době v praxi používají v oblasti řídicí, regulační a výpočetní techniky. Máme možnost se s nimi setkat v nejrůznějších aplikacích tiskáren, zapisovačů nebo také posuvných zařízení NC strojů. Aplikace můžeme také nalézt v oblasti regulační a řídicí techniky, kde ve spojení s převodovkou mohou ovládat a měnit polohu mechanických ventilů, směšovačů či klapek. Krokový motor je tedy velice výhodné použít k pohonu servořízení.[3]

Krokový motor představuje akční člen sloužící pro převádění digitálního signálu na úhel natočení rotoru. Krokový motor si můžeme představit jako točivý synchronní motor, v jehož statorovém vinutí není točivé pole generováno sinusovým napájecím napětím, ale je generováno „krokující“ magnetické pole vytvářené postupným napájením cívek, které tvoří pólové dvojice, stejnosměrným proudem. Počet poloh rotoru pak určuje počet kroků na jednu otáčku. Další vlastností motoru je jeho schopnost udržet se v přesné poloze po jeho zastavení.

4.1 Konstrukce krokového motoru

Krokový motor se skládá z několika základních částí. Jeho konstrukci můžeme vidět na obr. 9.



Obr. 9 Konstrukce krokového motoru[4]

Stator – skládá se z transformátorových plechů s ozubením na vnitřní straně a s místem pro vinutí. Cívky vinutí jsou navinuty okolo pólů statoru. Na koncích statoru jsou víka, v nichž jsou valivá ložiska nesoucí hřídel rotoru. Rozlišujeme několik normovaných velikostí vík: NEMA 8, 11, 14, 17, 23, 24, 34, 42.

Rotor – je složen z nosné hřídele, která může být vyvedena z motoru na obě strany, tzv. průběžná hřídel. Hřídel je upravena takovým způsobem, aby na ni bylo možno připojit výstupní mechanismus, popř. snímač otáček. Dle konstrukce jsou na rotoru dva ozubené válce, mezi nimiž může být permanentní magnet.

Připojovací kabeláž – pro připojení krokového motoru k výkonovému stupni řídicího systému slouží vyvedené vodiče jednotlivých cívek. Rozlišujeme několik typů motorů dle počtu vyvedených vodičů. Jejich počet je závislý na počtu fází motoru a možnosti jejich zapojení. Můžeme se setkat s motory se 4 vodiči, 6 vodiči, 8 vodiči a 10 vodiči.

4.2 Dělení krokových motorů

Krokové motory můžeme dělit podle jejich konstrukcí následovně.

- Krokové motory s pasivním rotorem – označované jako relokační nebo reakční. Využívají rozdílné magnetické vodivosti v příčné a podélné ose. Jejich funkce je podmíněna jiným počtem pólů statoru a rotoru.
- Krokové motory s aktivním rotorem – rotor je tvořen permanentním magnetem. Rovněž rozlišujeme skupiny s radiálně a axiálně polarizovaným magnetem. Počet pólů rotoru a statoru je rozdílný.
- Krokové motory hybridní – kombinují principy krokového motoru s pasivním a aktivním rotorem.[3]

4.3 Řízení krokových motorů

Na dělení řízení KM můžeme pohlížet z více pohledů. Základním dělením je dělení dle způsobu napájení fázových vinutí. Rozlišujeme pak:

- Unipolární napájení – na vinutí je vždy přiveden proud jedné polarity.
- Bipolární napájení – vinutí můžeme napájet proudem obou polarit.

Dále dělíme řízení dle počtu kroků na jednu periodu řídicích impulsů:

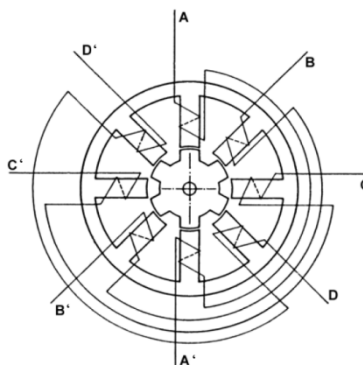
- 4taktní – perioda má 4 takty,
- 8taktní – perioda má 8 taktů,
- Ntaktní – perioda má N taktů. [3]

Je také možné rozlišovat řízení z pohledu počtu fází, které jsou současně buzeny.

- Buzení jedné fáze – proud je přiváděn pouze na jednu fázi statorového vinutí.
- Buzení dvou fází – proud je současně přiváděn na dvě fáze statorového vinutí.[3]

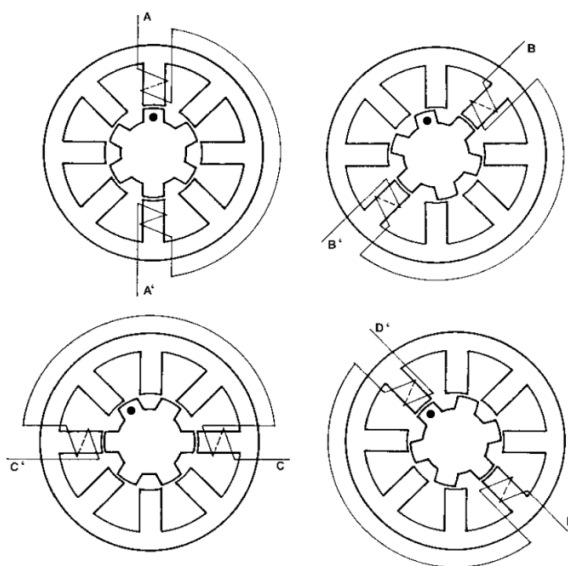
4.3.1 Řízení s unipolárním napětím

Zaměříme se na čtyřfázový KM s pasivním rotorem dle obr. 10, kde vidíme řez rotorem a státorem s vinutími.



Obr. 10 Řez krokovým motorem [3]

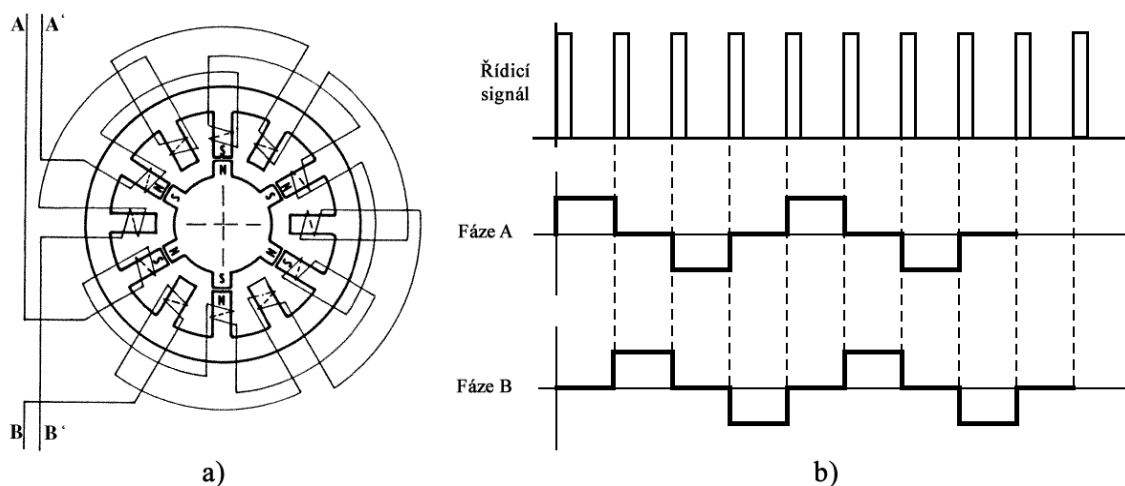
Stator má 8 zubů spojených do jednoho magnetického obvodu. Na každém zubu je cívka vinutí (A, B, C, D, A', B', C', D'). Cívky na protilehlých zubech jsou spojeny, a tvoří tak jednu fázi. Stator má tedy 4 fáze. Rotor má 6 zubů a 6 vzduchových mezer. Šířka zubů i vzduchových mezer je na statoru i rotoru stejná. Vinutí jsou připojena k výstupům řídicího obvodu, který v určitém pořadí řídí jejich buzení. V případě buzení určité fáze jí protéká stejnosměrný proud. Na obr. 11 vidíme postupné spínání fází A až D a pootočení rotoru. Tento způsob řízení se nazývá unipolární čtyřtaktní s magnetizací jedné fáze.[3]



Obr. 11 Postupné spínání všech fází KM [3]

4.3.2 Řízení s bipolárním napětím

Rotor tohoto motoru obsahuje radiálně polarizovaný permanentní magnet se střídající se polaritou, viz obr. 12 a). Rotor má oproti statoru poloviční počet pólů. Statorové vinutí je tvořeno dvěma fázemi. Vinutí je navinuto tak, že při buzení dané fáze se na pólech statoru střídají polarity. Při buzení statoru pomocí dvou napětí s fází posunutou o 90° je vyvolán otáčivý pohyb rotoru, viz obr. 12 b). Směr otáčení je určen polaritou a posloupností buzení fází. Toto je řízení bipolární čtyřtaktí s magnetizací jedné fáze. Další možností řízení je bipolární čtyřtaktí s magnetizací dvou fází nebo bipolární osmitaktí s magnetizací jedné nebo dvou fází. [3]



Obr. 12 Bipolární řízení KM s aktivním rotorem

4.4 Mikrokrokování

Jelikož velikost úhlu jednoho kroku je dána konstrukcí KM, a v některých případech tato rozlišovací schopnost krokování nedostačuje, můžeme použít metodu zvanou mikrokrokování. Tato metoda umožní dosažení jemnější rozlišitelnosti polohy, která je menší než jeden krok. Mikrokrokováním můžeme rozdělit základní velikost kroku na určitý počet mikrokroků stejné délky. Takto je možné krok rozdělit do maximálního počtu 64 až 256 mikrokroků. Při klasickém buzení protéká fázemi stejně velký proud. Pokud však budeme postupně snižovat hodnotu proudu jednou fází a zvětšovat hodnotu proudu fází sousední, můžeme dosáhnout libovolné polohy mezi krajními polohami dvou sousedních normálních kroků.

Máme-li dvoufázový hybridní motor, má tento motor jeden plný krok roven rotaci magnetického pole o 90° elektrických. Při provozování motoru s plnou délkou kroku jsou fáze buzeny kladným, nebo záporným proudem velikosti I , a vektor magnetického pole se pootočí o výše zmíněných 90° elektrických. V režimu mikrokrokování tento úhel $\varphi = 90^\circ$ rozdělíme na určitý počet mikrokroků n . Pro proudy v jednotlivých fázích platí následující rovnice [3]:

$$i_A = I \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \varphi}{n}\right) \quad (1)$$

$$i_B = I \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \varphi}{n} - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

Kde: $k = 0, 1, 2, \dots$

Nyní pro daný motor budeme požadovat vykonání čtyř mikrokroků na jeden plný krok. Pak bude platit Tab. 1:

Mikrokrok	Elektrický úhel φ	Proud fází A	Proud fází B
0	0	I	0
1	22,5	0,924 I	0,383 I
2	45	0,707 I	0,707 I
3	67,5	0,383 I	0,924 I
4	90	0	I

Tab. 1 Velikost proudu jednotlivými fázemi při mikrokrokování

5. Ovladač krokového motoru

Ovladač krokového motoru může být realizován buď pomocí výkonového budiče, nebo inteligentního kontroléru.

Výkonový budič (obr. 13) nemá vlastní řídicí část a integrovanou paměť dat. Slouží pouze k příjmu informace o směru a rychlosti otáčení. Informace jsou z nadřazeného systému zasílány ve formě impulsů. Jedna sada impulsů určuje směr otáčení a druhá sada určuje počet kroků k provedení. Tyto vstupní informace převádí výkonový budič na hodnoty proudu pro jednotlivé fáze motoru. Výkonová část obsahuje spínací prvky v počtu dle počtu fází motoru a jejich zapojení.



Obr. 13 Výkonový budič krokového motoru [4]

Inteligentní ovladač se skládá z části rozdělující řídicí signály, tzv. elektronického komutátoru, a výkonové části obsahující spínací prvky v počtu dle fází motoru. V případě řízení pohybu krokového motoru inteligentním ovladačem jsou požadavky na řízení zadávány pomocí příkazů. Ty mohou být uloženy ve vestavěné paměti, nebo mohou být zasílány přímo z nadřazeného systému online skrze komunikační rozhraní.



Obr. 14 Inteligentní ovladač krokového motoru [4]

6. Komunikace s nadřazeným systémem

Z důvodu potřeby zasílat ovládací příkazy z nadřazeného systému, byl pro řízení krokového motoru vybrán inteligentní ovladač – kontrolér. Ten bude s nadřazeným systémem propojen pomocí komunikačního rozhraní.

6.1 Rozdělení komunikačních rozhraní

Komunikační rozhraní můžeme dělit z několika pohledů.

Dle způsobu časového přidělení sběrnice:

- Trvale připojená sběrnice,
- dočasně přidělená sběrnice.

Dle způsobu časování přenosu:

- Synchronní,
- asynchronní.

Dle šířky sběrnice:

- Sériový přenos,
- paralelní přenos.

Synchronní přenos – jeho základní charakteristikou je vazba na pevný časový úsek během komunikace. Tento časový úsek je dán taktem hodinového signálu mikroprocesoru. Jednotlivé data se přenáší rovnou za sebou.

Asynchronní přenos – mezi jednotlivými časovými okamžiky není pevná časová vazba. Rychlost je podřízena pomalejšímu ze zařízení při komunikaci. Každá odeslaná datová zpráva musí na svém začátku obsahovat informaci o synchronizaci.

Paralelní přenos – je nejvýkonnější, ale realizačně nejdražší, a je u něj vyšší riziko rušení jednotlivých linek. Je vhodný pro přenos na krátkou vzdálenost, a tak je využíván především pro realizaci sběrnic uvnitř mikropočítače.

Sériový přenos – jedná se vlastně o speciální typ paralelního přenosu s šířkou sběrnice 1 bit. Přenášenou informaci je nutné na straně vysílače převést z paralelní formy do časové posloupnosti bitů a na straně přijímače tuto informaci opět převést do formy paralelní. [5]

6.2 Sériové komunikační rozhraní

Z výše uvedených typů vedení je sériové vedení nejvhodnější pro realizaci komunikačního vedení. Pro sériové rozhraní pak vzniklo několik druhů a standardů, které odpovídají normalizovanému předpisu.

Standard RS232 je (byl) ve spojení s osobním počítačem nejznámější. Slouží k připojení jednoduchých zařízení a podporuje jeden vysílač a jeden přijímač.

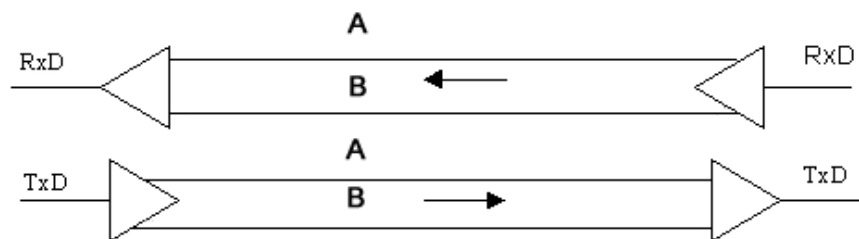
Naopak standard RS422 a RS485 se používá především v průmyslovém prostředí. Využívá principu Master/Slave komunikace, nebo multiprocessorové komunikace.

6.2.1 Rozhraní RS232

Standard RS232 využívá dvě logické úrovně vztažené k zemi. Log 0 je reprezentována kladnou úrovní a Log 1 je indikována zápornou úrovní. Nejčastější napětí pro přenášení logických úrovní je -10 V pro Log 1 a +10 V pro Log 0.

6.2.2 Rozhraní RS422

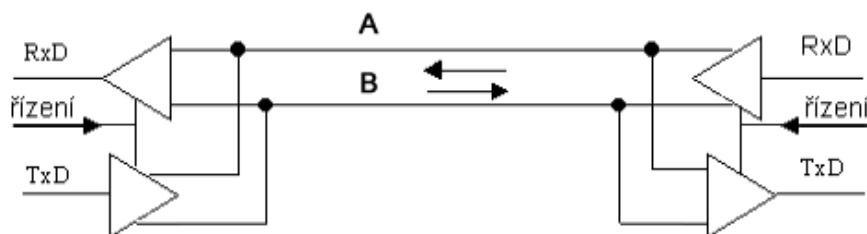
Standard RS422 využívá pro přenos informace čtyř vodičů. Pro signál Rx je použito jedné dvojice vodičů a pro Tx druhé dvojice vodičů. Jednotlivé vodiče v určitém směru přenosu jsou značeny A a B, a tvořeny kroucenou dvojlinkou. Každá z dvojice vodičů je buzena diferenciálně a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl. Tím je odstraněno součtové rušení.



Obr. 15 Nerozvětvená linka RS422

6.2.3 Rozhraní RS485

Rozhraní RS485 na rozdíl od rozhraní RS422 využívá pouze jeden pár vodičů. Z tohoto důvodu je nutné řídit komunikaci a její směr. Je potřeba přepínat jednotlivé uzly připojené k lince z vysílače na přijímač a naopak.



Obr. 16 Nerozvětvená linka RS485

7. Návrh parametrů lineárního vedení a motoru

Před výběrem požadovaného lineárního vedení a motoru je nutné určit požadované rozměry, hnací momenty a výstupní ovládací síly. Jelikož není k dispozici konkrétní struktura konstrukce vozidla, neznáme přesně jeho hmotnost, geometrii náprav a další ovlivňující parametry, budou vstupní hodnoty výpočtů zadávány na základě zkušeností a poznatků z podobných konstrukcí.

Přesné vyčíslení potřebného momentu pro natočení kola je výpočetně velice komplikované, obsáhlé a vyžaduje mnoho informací o vozidle a pneumatice. Některé tyto informace nejsou běžně dostupné a je nutné je získat laboratorním měřením (především parametry pneumatiky). Z tohoto důvodu je pro určení potřebného momentu výpočet zjednodušen.

7.1 Výpočet požadovaných hodnot

Uvažujme tedy čtyřkolové vozidlo vybavené řiditelnou přední nápravou s nezávislým zavěšením a poháněnou zadní nápravou také s nezávislým zavěšením. Přední řiditelná rovnoběžníková náprava je tvořena dvěma trojúhelníkovými rameny spojenými závěsem kola s řídicím ramenem. Jelikož neznáme geometrii nápravy, uvažujeme pro výpočty nejhorší případ a to, kdy se bude kolo otáčet na místě kolem středu plochy dotyku kola s podložkou. Rejdrová osa je tedy shodná se svislou osou kola a prochází středem plochy dotyku kola s podložkou. Délku řídicího ramene volíme na základě podobných konstrukcí $l_R = 0,08 \text{ m}$.

U vozidla určíme odhadem nejvyšší možnou hmotnost (uvažování dvou elektromotorů, napájecích baterií, rámu vozidla,...) a to $m = 500 \text{ Kg}$. Dále určíme velikost plášťů. Standardní rozměr plášťů čtyřkolových vozidel na přední ose je 25x8x12.

Výpočet zatížení jednoho kola F_Z :

$$F_Z = \frac{m}{4} \cdot g = \frac{500}{4} \cdot 9,81 = 1226 \text{ N} \quad (3)$$

Kde: g je gravitační zrychlení
 m je hmotnost vozidla

Odtud určíme moment M_P potřebný pro pootočení jedním kolem:

$$M_P = F_Z \cdot f \cdot S = 1226 \cdot 0,55 \cdot \frac{203,2}{1000} = 137 \text{ Nm} \quad (4)$$

Kde: f je součinitel tření
 S je šířka kola (8 palců – 203,2 mm)

A následně určíme potřebnou sílu na tyči řízení F_R :

$$F_R = \frac{M_P}{l_R} = \frac{137}{0,08} = 1713 \text{ N} \quad (5)$$

Kde: l_R je délka řídicího ramene

A nakonec potřebnou sílu na vozíku lineárního vedení F_{VP} :

$$F_{VP} = 2F_R = 3426 \text{ N} \quad (6)$$

Takto získané výsledky poslouží k představě o silových účincích na řízení a k počátečnímu odhadu při výběru lineárního vedení a krokového motoru.

7.2 Výpočet dosažitelných hodnot

Navrhnuté řešení lineárního vedení uvažuje lineární vedení Kuroda, jež je vybaveno pohybovým šroubem s kuličkami a uložením posuvné matice také v kuličkových vedeních. Navržené lineární vedení má označení SG3305A-400P. Pro výpočet jsou důležité parametry získané z katalogových listů Kuroda [6].

Lineární vedení Kuroda SG3305A-400P	
Průměr šroubu d	10 mm
Minimální průměr šroubu d_{min}	8,1 mm
Střední průměr šroubu d_s	9,05 mm
Stoupání s	5 mm
Maximální rozběhový moment	0,15 Nm

Tab. 2 Parametry lineárního vedení Kuroda SG3305A-400P [6]

Při návrhu lineárního vedení bylo také nutné určit vstupní hnací moment. Pro tyto účely bylo rozhodnuto o určení typu krokového motoru. Příruba lineárního vedení je přizpůsobena pro připojení krokového motoru s přírubou Nema 23. Dále bylo rozhodnuto o zvolení kontroléru krokového motoru, který byl vybrán na základě praktických zkušeností. Jedná se o kontrolér RMS Technologies R356 dodávaný firmou Servo-Drive.cz. Ze zkušeností o komptabilitě kontroléru a motoru byl i krokový motor vybrán z nabídky této firmy. Na základě odhadu momentu byl vybrán motor 5718L-01P. V tab. 3 jsou uvedeny parametry vybraného krokového motoru.

Krokový motor 5718L-01P	
Hnací moment M_Z	2,08 Nm
Proud fází I_F	2,8 A
Délka	78,7 mm
Váha	0,998 Kg
Příruba	57x57 mm – Nema 23
Moment setrvačnosti	0,4758 Kg x cm ²
Počet vývodů	4

Tab. 3 Parametry krokového motoru 5718L-01P [7]

Nyní můžeme provést výpočet velikosti posouvající síly na vozíku (matici) lineárního vedení.

Nejprve vypočítáme úhel stoupání závitu Ψ :

$$\Psi = \arctg \frac{s}{\pi \cdot d_s} = \arctg \frac{5}{\pi \cdot 9,05} = 9,97^\circ \quad (7)$$

Poté vypočteme účinnost šroubového převodu h pro převod rotačního pohybu na lineární pohyb:

$$h = \frac{\tg(\Psi)}{\tg(\Psi + \arctgf1)} = \frac{\tg(9,97)}{\tg(9,97 + \arctg0,01)} = 0,9445 \quad (8)$$

Kde: $f1$ je součinitel tření v závitu mezi šroubem a maticí

Součinitel tření mezi šroubem a maticí volíme dle druhu spojení a dle materiálů šroubu a matice. Pro trapézový závit (materiál šroubu ocel, materiál matice ocel) platí součinitel 0,1 – 0,2. Pro kuličkový závit platí součinitel 0,01.

Pomocí vstupního momentu M_Z , výše vypočítané účinnosti a parametrů závitu lineárního pohonu vypočítáme dosažitelnou velikost posouvající síly na vozíku F_{VD} :

$$F_{VD} = \frac{2 \cdot \pi \cdot M_Z \cdot h}{s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,08 \cdot 0,9445}{5} = 2468 \text{ N} \quad (9)$$

Odtud jednoduchým výpočtem určíme vyvolaný moment otáčení na jedno kolo M_K :

$$M_K = \frac{F_{VD}}{2} \cdot l_R = \frac{2468}{2} \cdot 0,08 = 98,75 \text{ Nm} \quad (10)$$

7.3 Porovnání hodnot získaných výpočty, zhodnocení

Nyní máme vypočítány velikosti požadovaných a dosažitelných hodnot, které můžeme porovnat.

Požadované hodnoty	Dosažitelné hodnoty
$M_P = 137 \text{ Nm}$	$M_K = 98,75 \text{ Nm}$
$F_{VP} = 3426 \text{ N}$	$F_{VD} = 2468 \text{ N}$

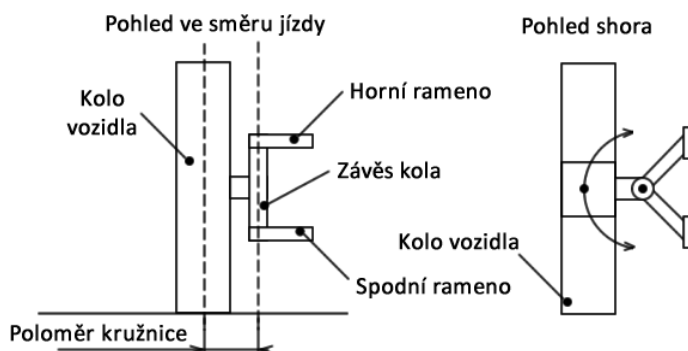
Tab. 4 Porovnání požadovaných a dosažitelných velikostí sil a momentů

V tabulce porovnání požadovaných a dosažitelných hodnot vidíme, že navrhnutý krokový motor ve spojení s navrženým lineárním vedením nedosahuje teoreticky určených požadovaných hodnot. Je však nutné připomenout, že vstupní hodnoty výpočtů pro požadované hodnoty byly získány z parametrů a případů, které byly odhadovány a voleny jako nejvyšší možné (např. hmotnost), nebo jako nejhorší možné případy (např. otáčení kola na místě kolem své svislé osy). Pokud tedy bude např. uvažována nejvyšší hmotnost čtyřkolek dodávaných na trh, tj. $m = 360 \text{ Kg}$, bude požadovaný moment na otočení jedním kolem roven $M_P = 98,67 \text{ Nm}$.

Také můžeme uvažovat, že skutečná geometrie náprav zajišťuje to, že se kolo neotáčí na místě kolem své svislé osy, ale kolem rejdové osy, která není se svislou osou kola totožná. Kolo tak bude při pohybu opisovat kružnici, jejíž poloměr se rovná velikosti

poloměru rejdu. Poloměr rejdu je vzdálenost mezi průnikem svislé osy kola a podložky a průnikem rejdové osy a podložky.

Poté se tedy kolo při otáčení kolem rejdové osy odvaluje a je pro jeho otočení potřeba menší velikost momentu.



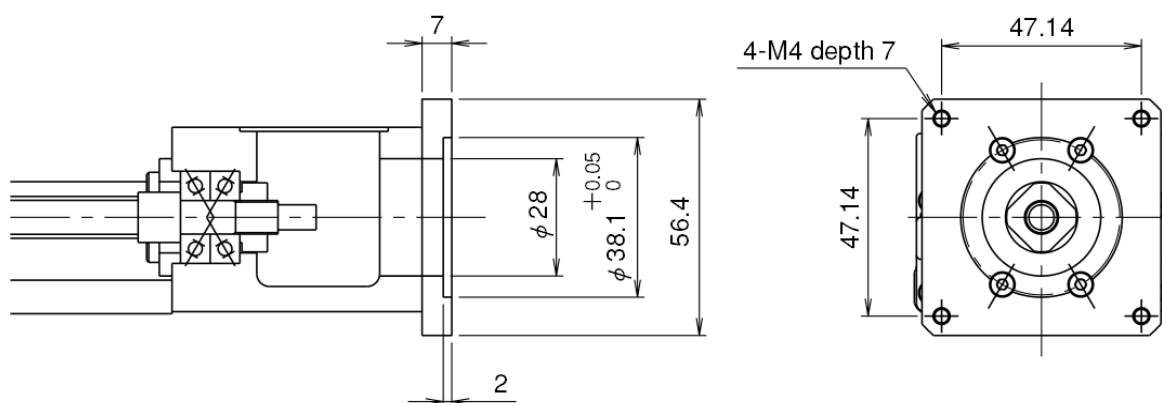
Obr. 17 Otáčení kola kolem rejdové osy

Jako další faktor ovlivňující (snižující) potřebný moment pro otočení kolem se projeví typ pneumatiky na kole. Ve výpočtu je uvažováno s hladkou ideální pneumatikou, jež se podložky dotýká ve všech bodech v průmětu místa dotyku do podložky. Z používaných typů čtyřkolových vozidel a možností použití pneumatik vidíme, že se používají pneumatiky s dezénem. Celková plocha dotyku dezénu je menší než uvažovaná plocha ve výpočtu. Při použití běžně dodávaných pneumatiky je velikost této plochy výrazně menší. Standardně jsou totiž na vozidla těchto parametrů dodávány pneumatiky určené do terénu. Nejčastěji mají pneumatiky dezén šípového vzoru.

Z těchto faktů předpokládáme, že skutečná požadovaná síla na vozíku lineárního posuvu bude nižší. Toto lze ověřit experimentálně až na skutečném vozidle.

8. Lineární vedení

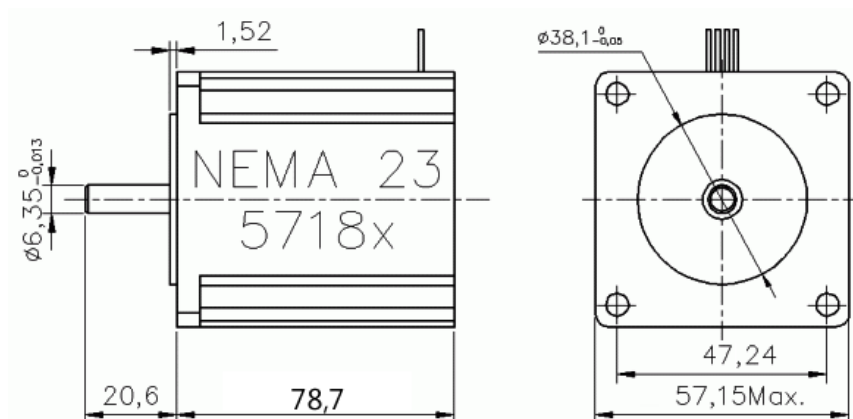
Vybrané lineární vedení Kuroda SG3305A-400P je konstruované jako vedení s vysokou přesností a nízkým rozběhovým momentem. Základem tohoto vedení je kuličkový šroub o průměru 10 mm. Síly mezi maticí a šroubem jsou přenášeny přes kuličky, které jsou vedeny skrze matici v kuličkovém vedení. Dalším prvkem je posuvná matice, která je uložena v drážkách vyfrézovaných ve vedení. K přenosu sil mezi drážkami a maticí jsou opět použity kuličky. Na koncích lineárního vedení jsou víka s ložisky sloužící k usazení pohybového kuličkového šroubu. Na jedné straně je víko neprůchozí a na druhé straně je pohybový šroub vyveden skrze víko s ložiskem mimo těleso vedení, kde je možné připojit pohon. Na této straně je také připevněna příruba sloužící k připevnění pohonu. Rozměry příruby a montážních otvorů jsou na obr. 18. Celkové rozměry lineárního vedení jsou k nalezení v příloze č. 2. Parametry šroubu použitého v lineárním vedení jsou uvedeny v tab. 2.



Obr. 18 Rozměry příruby lineárního vedení Kuroda SG3305A-400P[6]

9. Krokový motor s enkodérem

Na základě výpočtů byl vybrán krokový motor LIN ENGINEERING 5718L-01P. Parametry motoru jsou uvedeny v tab. 3. Rozměrový výkres je na obr. 19. Krokový motor má úhel kroku $1,8^\circ$, a tak za otáčku provede 200 kroků. Jedná se o krokový motor se dvěma fázemi (čtyřmi vývody), který je napájen z kontroléru RMS Technologies R356. Kontrolér R356, jeho připojení a programování je samostatně popsáno v kapitole 10.



Obr. 19 Rozměry krokového motoru 5718L-01P [4]

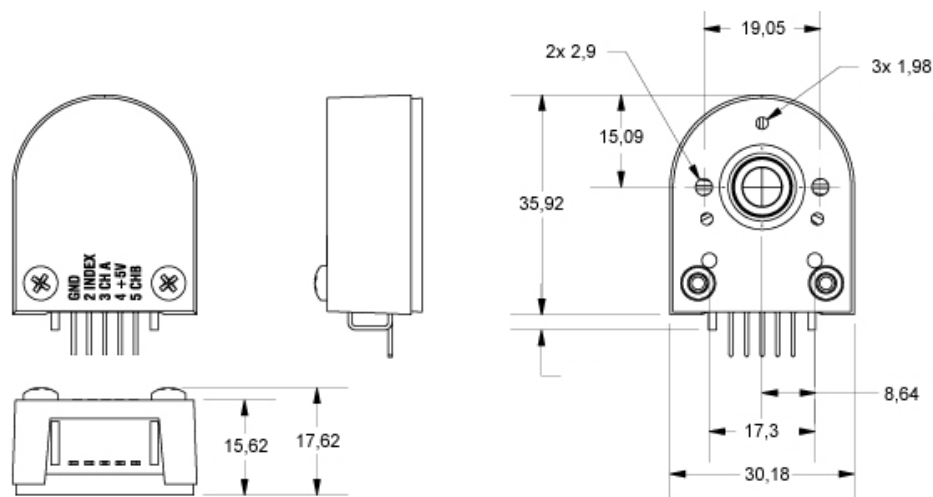
9.1 Enkodér US Digital E2

Krokový motor je vybaven optickým enkodérem, který je na stator připevněn ze zadní části motoru a otočný disk enkodéru je umístěn na konci průběžné hřídele. Enkodér slouží k snímání aktuální polohy natočení hřídele krokového motoru. Připojení enkodéru ke kontroléru R356 je provedeno pomocí pětivodičového kabelu.

Barva vodiče enkodéru	Přiřazení na enkodéru	Barva vodiče kontroléru	Přiřazení na kontroléru
Černá	Napájení – (zem)	Zelená	Napájení – (zem)
Zelená	Index	Bílá	Index
Bílá	Kanál A	Žlutá	Kanál B
Červená	Napájení +5 V DC	Červená	Napájení +5 V DC
Hnědá	Kanál B	Modrá	Kanál A

Tab. 5 Přiřazení pinů Enkodéru E2

Při testování propojení enkodéru E2 a kontroléru R356 bylo zjištěno, že pokud je propojení provedeno dle manuálu, tj. kanál A a B je z enkodéru přiveden na kanál A a B kontroléru, probíhá čítání pulsů opačným směrem než je skutečný směr otáčení motoru. Výsledkem bylo, že pokud se krokový motor pootočil o např. 10 000 pulsů kladným směrem, enkodér načtl hodnotu -10 000 pulsů. Provedena byla tedy úprava spočívající v záměně kanálů výstupu enkodéru a zapojení je provedeno dle přiřazení na kontroléru R356. Pro přehled je zapojení uvedeno v tab. 5.



Obr. 20 Rozměry enkodéru E2 [4]

Po připojení enkodéru ke kontroléru je nutné kontroléru zadat převod pro přepočít pulsů PE . Toto číslo vypočítáme ze vzorce:

$$PE = \frac{\text{mikrokrokování} \times \text{počet kroků na otáčku}}{\text{rozlišení enkodéru na otáčku} \times 4} \times 1000 \quad (11)$$

V našem případě má enkodér US Digital E2 rozlišení 400 pulsů na otáčku. Výsledná hodnota převodu je poté 32000. Tu nastavíme v kontroléru R356 příkazem /1aE32000R. Po zadání této hodnoty je nutné udávat požadovanou polohu motoru přepočtenou dle převodu enkodéru. Nyní je pro provedení jedné otáčky nutné zadat 1600 pulsů (před zadáním převodu při mikrokrokování 256 to bylo 51200 pulsů).

Enkodér je využíván ve funkci zpětné vazby pro kontrolér R356 při aktivní funkci korekce polohy. Zde obstarává informaci o skutečné poloze rotoru motoru a kontrolér zajišťuje, aby motor dosáhl požadované polohy, tj. shodu zadané a skutečné polohy. Více informací o výpočtu a příkazech je k nalezení v příloze č. 1, dodatek 1 – Mód korekce polohy.

10. Kontrolér R356

Kontrolér RMS TECHNOLOGIES R356 se skládá z řídicí jednotky a budicího stupně. Kontrolér může pracovat jak s nadřazeným systémem (např. PC), který zadává online příkazy po sériové komunikační sběrnici RS485, tak i samostatně. Kontrolér může také pracovat v režimu výkonového budiče.

Při funkci samostatně pracujícího kontroléru je do paměti uložen program, který se začne provádět po zapnutí. Program obsahuje posloupnost příkazů, může obsahovat vnořené smyčky, stop příkazy, programově volitelné proudy, volby rychlostí, volby zrychlení, mikrokrokování, aj.

Při režimu ovládání kontroléru nadřazeným systémem jsou příkazy zasílány skrze komunikační rozhraní RS485 (nebo pomocí převodníku RS485 / USB). I v tomto případě mohou být v paměti uloženy příkazy, např. inicializace po spuštění.

Kontrolér R356 je možné provozovat také v režimu výkonového stupně. V tomto režimu je nutné zasílat do kontroléru pomocí vstupních pinů informace o požadovaném chování.

R356 je spojen s optickým enkodérem sloužícím ke korekci polohy natočení rotoru, tj. zpětné vazbě. Enkodér zasílá impulsy do R356 a tím zajišťuje, že je dodržena shoda požadované a skutečné polohy. Enkodér může být také použit pouze k zasílání chybových hlášení o rozdílu zadané a skutečné polohy a provedení opakování nastavení polohy tzv. mód přetížení.[8; 9]



Obr. 21 Kontrolér R356[4]

Kontrolér je vybaven třemi konektory. Jedním konektorem se 4 piny je ke kontroléru připojen krokový motor. Druhým konektorem s 6 piny je připojen optický enkodér.

Na druhé straně pouzdra je vyveden konektor DB-15 sloužící pro připojení zdroje napájení, I/O vstupů a komunikačního rozhraní. V konektoru DB-15 jsou pro komunikaci využity 2 piny. Pomocí těchto pinů je vyvedeno komunikační rozhraní RS485. Zbylé piny jsou využity k napájení kontroléru a k připojení dalších I/O jako např. optický senzor, tlačítko, LED, relé, elektromagnetický ventil, aj.[8; 9]

Základní nastavení funkcí kontroléru R356 je uvedeno v Tab. 6.

Funkce	Hodnota a popis
Napájecí proud	25 % z 3 A
Přidržený proud	10 % z napájecího proudu
Rozlišení krokování	256x
Maximální rychlost (V)	305175 pps
Zrychlení (L = 1000)	6103500 pps ²
Pozice	0
Jemnost mikrokrokování (o)	1500
Výstupy (J)	Oba vypnuté
Modulační rychlost	9600 bps

Tab. 6 Základní nastavení kontroléru R356 [9]

10.1 Základní specifikace R356

Elektrické specifikace

Napájecí napětí:	+12 až +40 V DC
Proud fází:	0,3 až 3 A (špičkově)
Počet I/O	4
Vstupní napětí	0 až +5 V DC
Vstupní proud	700 mA
Pull-up odpory	20 kΩ
LED výstup	(pin 9) max. 20 mA

Provozní vlastnosti

Mikrokrokování	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256
----------------	----------------------------------

Maximální frekvence pulsů	2 ²⁴ pps nebo 16,7 MHz
Rozsah provozní teploty	0 až 50 °C
Skladovací rozsah teploty	-20 až 70 °C

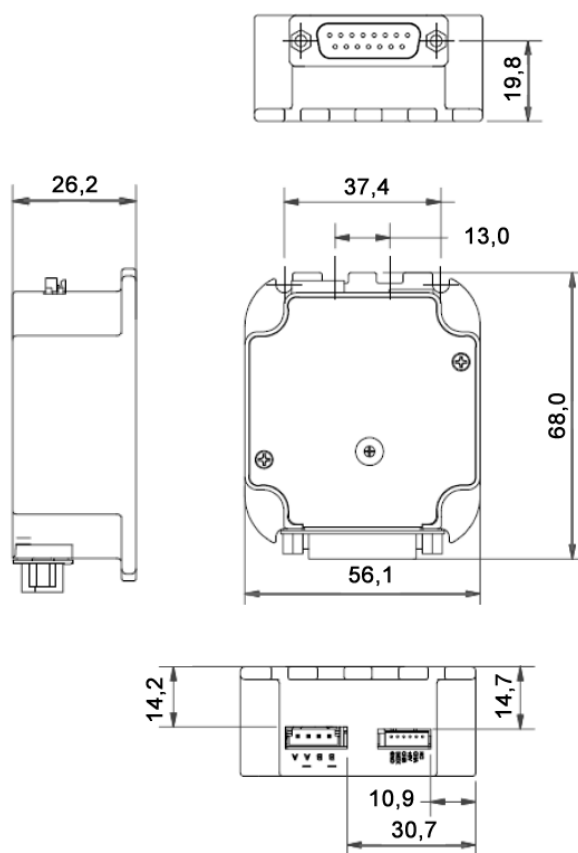
Specifikace komunikace

Typ komunikačního rozhraní	RS485 (RS232 nebo USB s použitím převodní karty)
Modulační rychlost (Baud rate)	9600, 19200, 38400 bps
Parita	Není
Stop bit	1

Rozměrové specifikace

Rozměry	56,1 mm x 68,0 mm x 26,2 mm
Váha	100 g
Kryt	eloxovaný hliník

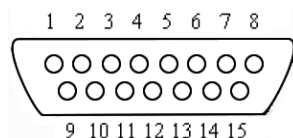
Rozměrový náčrt



Obr. 22 Rozměry kontroléru R356[9]

10.2 Připojení kontroléru R356

Jak již bylo popsáno dříve, kontrolér R356 je k PC připojen pomocí převodníkové karty, která převádí komunikaci standartu RS485 na standart USB nebo pomocí převodníku RS485 na RS232. Připojení je provedeno konektorem CANNON DB-15. V tab. 7 je uvedeno přiřazení pinů konektoru nejen pro komunikaci, ale také pro připojení ostatních vstupů (napájení, vstup optického snímače, vstup tlačítka, atd.).



Obr. 23 Rozložení pinů v konektoru CANNON DB-9 – pohled na R356

PIN	Barva vodiče	Přiřazení	Vstup
1	Zelená	Napájení - V (uzemnění, GND)	
2	Černá	On/Off výstup 1 A	
3	Žlutá/zelená	Vstup řízení směru	
4	Žlutá	+5 V DC Vstup pro Opto snímač	
5	Oranžová	Vstup	2
6	Žlutá/bílá	Napájení Optického snímače	
7	Oranžová/bílá	Optický snímač (Fototranzistor) – vstup	3
8	Černá/bílá	RS485A (+)	
9	Červená	Napájení + V (+12 V až +40 V)	
10	Modrá	On/Off výstup 1 A	
11	Modrá/bílá	Vstup řídicího kroku	
12	Zelená/bílá	Signálová zem	
13	Bílá	Vstup	1
14	Červená/bílá	Vstup	4
15	Hnědá	RS485B (-)	

Tab. 7 Přiřazení pinů konektoru DB-9[9]

Pro připojení krokového motoru ke kontroléru R356 slouží čtyřvodičový kabel. Kabel je součástí dodávky kontroléru R356. Tento kabel je zapojen do konektoru, který

se nachází na opačné straně pouzdra R356 než konektor DB-15. Přiřazení pinů připojení KM je v následující tabulce.

Barva	Přiřazení
Červená	Fáze A +
Modrá	Fáze A -
Zelená	Fáze B +
Černá	Fáze B -

Tab. 8 Přiřazení pinů připojení KM[9]

Pro připojení optického enkodéru slouží pětivodičový kabel. Tento kabel se připojuje do konektoru nacházejícího se vedle konektoru připojení krokového motoru. V tab. 9 je přiřazení jednotlivých pinů konektoru.

Barva	Přiřazení
Zelená	Napájení – (zem)
Bílá	Index
Žlutá	Kanál B
Červená	Napájení +5 V DC
Modrá	Kanál A

Tab. 9 Přiřazení pinů konektoru enkodéru[9]

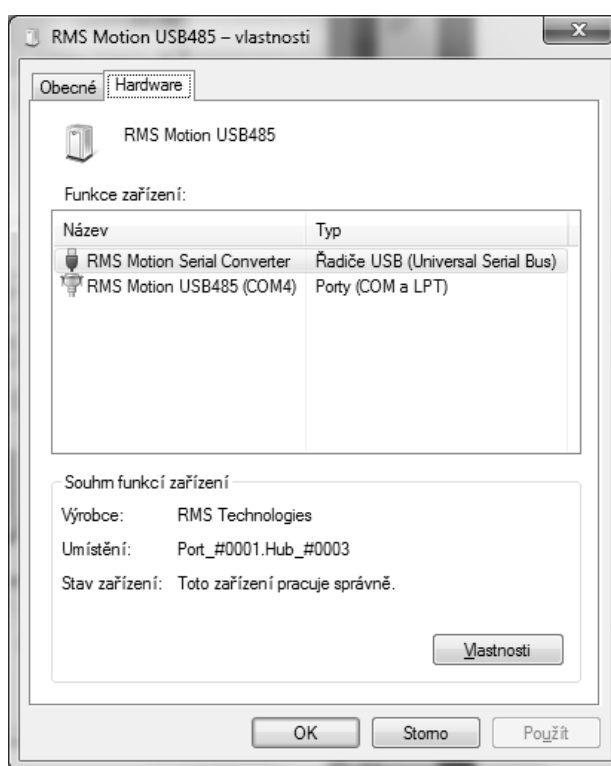
10.3 Nastavení připojení R356 k PC

V případě připojení kontroléru R356 k PC pomocí převodníku RS485/RS232 stačí připojit propojovacím kabelem převodník ke konektoru RS232 v PC. Nejčastěji je převodník připojen k portu č. 1 – COM1.

Pokud je použit převodník RS485/USB je nutno stáhnout a nainstalovat ovladače (dva soubory) pro tento převodník. Ovladače je možné zdarma stáhnout na stránkách www.rmsmotion.com nebo na www.servo-drive.com. Po úspěšném nainstalování uvidíme převodník USB 485 jako zařízení v PC. Pro OS Windows 7 se seznam dostupných zařízení nachází v následující nabídce: Start/Ovládací panely/Hardware a zvuk/Zařízení a tiskárny. [9]

Pro zjištění, ke kterému virtuálnímu portu je převodník USB 485 připojen, rozevřeme nabídku pravým tlačítkem na ikonu převodníku, vybereme položku „vlastnosti“ a záložku „Hardware“. Zde (obr. 24) vidíme, který virtuální port je využíván (v našem případě COM4).

Nyní označíme řádek „RMS Motion USB485 (COM4)“ a levým tlačítkem vybereme možnost „Vlastnosti“. V záložce „Port Settings“ nastavíme základní nastavení portu. Rychlost komunikace (Bits per second) nastavíme na hodnotu 9600, velikost datového slova (Data bits) na 8, Parita (Parity) žádná (None), ukončovací bit (Stop bit) 1 a řízení toku (Flow control) žádný (None).[9]



Obr. 24 Vlastnosti převodníku USB 485

10.4 Programování R356

Kontrolér R356 je ovládán příkazy, které jsou definovány výrobcem. Seznam těchto příkazů nalezneme v Příloze č. 1. Tyto příkazy je možné kombinovat, a tím vytvářet různé řídicí algoritmy. Příkazy mohou být uloženy v paměti mikrokontroléru nebo zasílány „online“ po komunikační sběrnici z nadřazeného systému.

Příkladem může být následující jednoduchý příkaz.

/1gP10000M800D10000M800G10R

/	Příkaz vždy začíná tímto znakem.
1	Adresa kontroléru (dána voličem na horní straně kontroléru).
g	Začátek smyčky (všechny příkazy mezi „g“ a „G“ se opakují).
P10000	Otočení motoru ve směru hodinových ručiček o 10000 kroků.
M800	Doba čekání 800 ms.
D10000	Otočení motoru proti směru otočení hodinových ručiček o 10000 kroků.
M800	Doba čekání 800 ms.
G10	Ukončení smyčky a nastavení opakování 10x.
R	Spouští tento příkaz.

Nejjednodušší způsob zadávání příkazů pro řízení R356 je jejich odesílání přes komunikační rozhraní sériové komunikace (např. Terminal, HyperTerminal, Hyper serial port, aj.). Tato možnost však omezuje efektivitu práce s příkazy, jelikož je třeba každý příkaz napsat celý, a poté odeslat.

Pokud využíváme PC s nainstalovaným obslužným softwarem Windows XP a starší, můžeme zasílání příkazů a vytváření programů použít software LinControl, který je zdarma k dispozici na stránkách výrobce (www.linengineering.com) nebo distributora (www.servo-drive.com).

Jestliže využíváme k programování kontroléru PC s nainstalovaným obslužným softwarem Windows Wista a novější, můžeme použít výše zmíněný software LinControl nebo novější program LinCommand dostupný na stránkách výrobce (<http://www.linengineering.com>).

Podrobnější popis programů bude uveden v dalších kapitolách.

10.5 Funkce kontroléru jako výkonového stupně

Kontrolér R356 je možné provozovat v režimu pouze výkonového budiče (Režim kroku a směru otáčení – Step and Direction Mode). V tomto režimu je nutné zasílat do kontroléru pomocí pinu 3 (vstup směru otáčení) a pinu 11 (vstup impulsů kroků) informace o jeho chování. Aktivace tohoto režimu je provedena použitím příkazu „n96“ a uložením do paměti 0 (příkazy z této paměti jsou spouštěny ihned po startu kontroléru).

1. Připojte PC a uložte příkaz „n96“ do paměti 0: /1s0n96R.
2. Připojte kladný výstup generátoru pulsů TTL úrovně k pinu 11.
3. Připojte +5 VDC k pinu 4.
4. Propojte záporné póly generátoru pulsů a zdroje +5 VDC.
5. Změnu smyslu otáčení provedete připojením signálové zemně vytvořené v kroku č. 4.

10.6 LinControl

Jak již bylo uvedeno dříve, program LinControl slouží k ovládání a vytváření příkazů a programů pro kontrolér R356. V této kapitole bude uveden základní popis programu a užití jednotlivých funkčních bloků.

Při spuštění programu máme na výběr z několika produktů (viz obr. 25). V našem případě vybereme SilverPak23C jelikož se jedná o stejný kontrolér jako R356. SilverPack je pouze název pro spojený krokový motor NEMA32 s kontrolérem R356 v jeden celek.

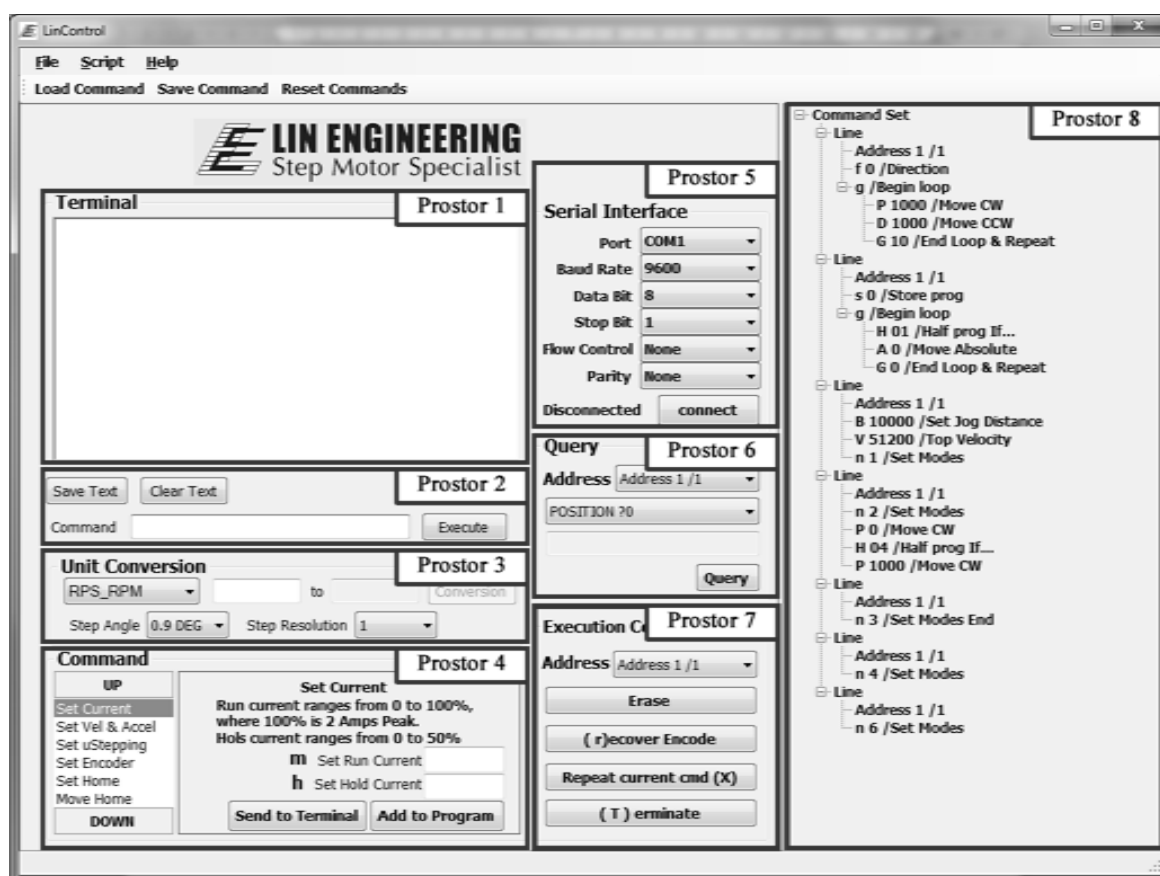


Obr. 25 Úvodní okno výběru LinControl

Po spuštění se nám zobrazí hlavní okno programovacího prostředí (viz obr. 26). Celý prostor je rozdělen do dvou hlavních částí. V levé části se nachází prostor pro tvorbu a odesílání příkazů, v pravé části je možné vidět větvení přednastavených příkazů.

Samotná levá část okna je rozdělena do několika prostorů. Prostor č. 1 nahrazuje Hyperterminal. Zde je možné psát přímo příkazy a odesílat je do kontroléru. K odesílání příkazů do kontroléru slouží také prostor č. 2.

Prostor č. 3 slouží pro rychlý převod jednotek. Vždy je převáděna jednotka v levém okně na jednotku v pravém okně. Lze takto například převádět otáčky za vteřinu na otáčky za minutu.



Obr. 26 Rozložení ovládacích prvků programu LinControl

Prostor č. 4 slouží pro vytváření příkazů. Výběrem skupiny v levé části se rozevře její nabídka. V tomto případě se jedná o možnost nastavení napájecího a přidržného proudu. Uživatel má na výběr, zda příkaz zašle do terminálu a rovnou ho vykoná nebo jej přidá do programu pro kontrolér. [10]

V prostoru č. 5 je možné spravovat připojení sériové komunikace. Vidíme zde i informaci o aktuálním připojení komunikačního rozhraní.

Prostor č. 6 umožňuje zasílat do kontroléru dotazovací „příkazy“. Po odeslání příslušného dotazu je zobrazena odezva kontroléru. Můžou být tázány a zobrazeny následující informace:

- Aktuální poloha motoru,
- maximální rychlost otáčení,
- stav všech vstupů a výstupů,
- aktuální rychlost režimu rychlosti,
- rozlišení krokování – v mikrokrocích,
- hodnota „o“ funkce nastavující plynulost kroku při mikrokrokování,
- pozice motoru dle enkodéru.

V prostoru č. 7 se nacházejí tlačítka pro vykonávání příkazů opakování, mazání, ukončení atd.

Prostor č. 8 obsahuje strom a větvení sad příkazů. Zde vidíme, že je předpřipraveno několik vzorových programů. V tomto prostoru můžeme také vytvářet sadu příkazů seskupenou do jednoho programu.[10]

10.6.1 Vytvoření a spuštění sady příkazů

Nejdříve musíme vložit nový „L set“. Do tohoto setu vložíme stisknutím pravého tlačítka myši na „Line“ a výběrem „New Command“ nový příkaz. Obsah příkazu nyní zvolíme buď z rozevírací nabídky po stisknutí pravého tlačítka myši na „New Command“, nebo z tabulky, která se objeví po dvojitém poklepání levým tlačítkem myši na „New Command“.

Hotovou sadu příkazů můžeme buď uložit jako vzor, nebo odeslat do kontroléru. Pro uložení slouží tlačítko „Save Command“. Při uložení je program uložen na pevný disk PC odkud je možné jej opětovně načíst. Výrobce nedoporučuje tento soubor nijak upravovat mimo prostředí LinCommand.[10]

Odeslání sady příkazů můžeme provést dvěma způsoby. První možnost je stisknutí pravého tlačítka myši na „Line“ a vybrání „Send Command“ nebo pomocí druhé možnosti, kdy na „Line“ stiskneme a držíme levé tlačítko a přesuneme jej do okna terminálu.

10.7 LinCommand

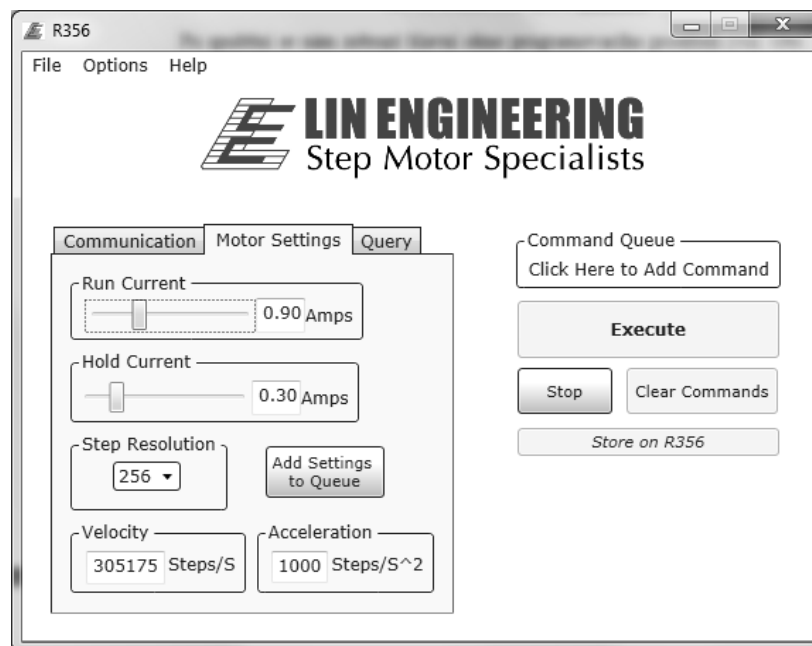
Stejně jako program LinControl, také program LinCommand slouží k ovládání a vytváření příkazů a programů pro kontrolér R356. Program LinCommand nabízí výrobce jako BETA verzi a je možné, že některé funkce budou omezené. Dále k tomuto programu není GUI manuál tak, jako k programu LinControl. V této kapitole bude uveden základní popis programu.

Po spuštění máme na výběr z R356/Silverpack23 a R256/Silverpack17. V našem případě zvolíme R356/Silverpack23.



Obr. 27 Úvodní okno výběru LinCommand

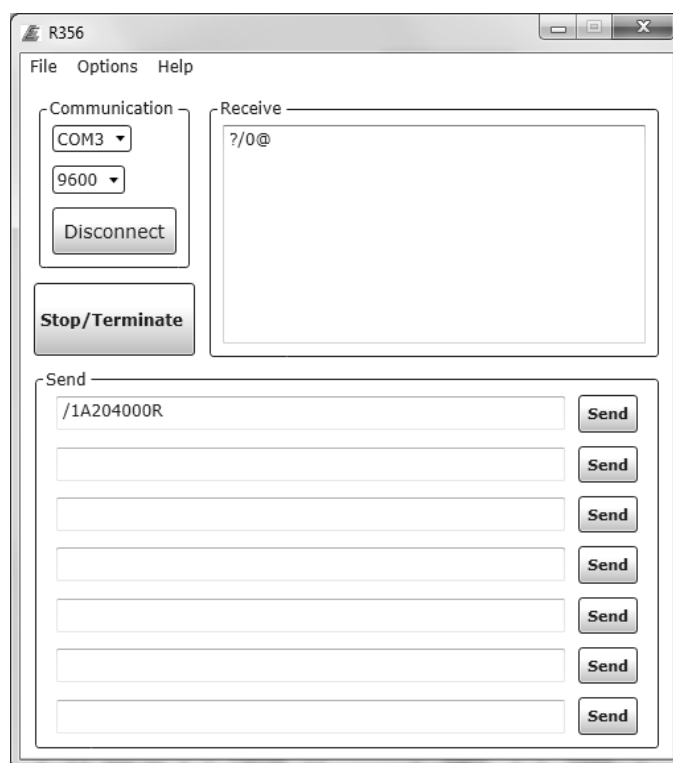
Po spuštění programu můžeme pracovat ve dvou režimech: „normal“ a „advanced mode“. Výběr je možné provést v nabídce „Options“.



Obr. 28 LinCommand - Normal mode

V normálním módu (obr. 28) vidíme tři záložky: Communication, Motor settings a Query. V první záložce Communication nastavujeme parametry komunikace, adresu kontroléru a také vidíme status připojení. V záložce Motor Settings můžeme měnit parametry napájecího a přidržného proudu, rozlišení mikrokrokování, hodnoty rychlosti otáčení a zrychlení. Záložka Query slouží k odesílání dotazovacích příkazů a zobrazuje odezvu na tyto příkazy.

V pravé části normálního módu zadáváme příkazy poklepáním pravým tlačítkem myši na „Click here to Add Command“. V nabídce poté vybereme příslušný příkaz a zadáme požadované parametry. Takto lze příkazy skládat za sebe. Příkazy se poté vykonávají v pořadí, v jakém byly vloženy do seznamu příkazů. Odeslání skupiny příkazů provedeme stiskem tlačítka „Execute“. Právě probíhající příkazy můžeme ukončit tlačítkem „Stop“. Vytvořenou skupinu příkazů můžeme také uložit do paměti kontroléru tlačítkem „Store on R356“.



Obr. 29 LinCommand - Advanced mode

V režimu „Advanced Mode“ máme v části Communication k dispozici možnosti nastavení komunikace a vidíme status připojení. Dále je možné si v části Send předpřipravit 7 příkazů do prázdných polí. Ty lze poté odesílat stiskem tlačítka „Send“. V pravé části Receive vidíme odezvy odeslané kontrolérem zpět do nadřazeného systému. Toto rozhraní nahrazuje rozhraní „Hyperterminal“. Právě probíhající příkazy je možné zastavit tlačítkem „Stop/Terminate“.

11. Nadřazený řídicí systém s TWR PXS20

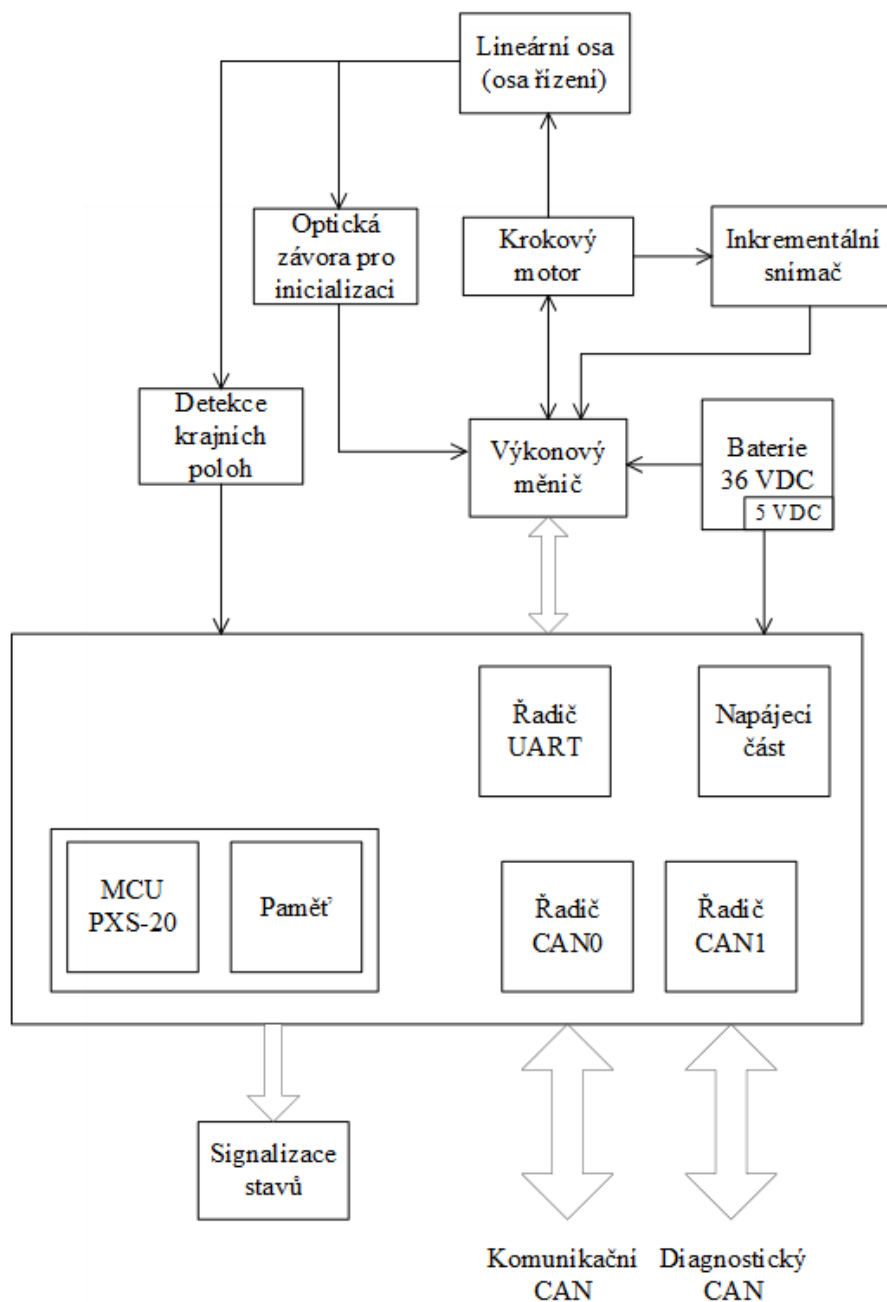
Navrhované vozidlo, pro něž je určen systém servořízení popisovaný v této práci, bude jako centrální jednotku využívat modul s procesorem. Tento modul bude řídit komunikaci po komunikační sběrnici vozidla a bude diagnostikovat a zaznamenávat krizové situace jednotlivých funkčních subsystémů (servořízení, brzdová soustava, pohonná soustava, soustava osvětlení...). Jelikož je tento modul vybaven komunikačním rozhraním RS485, je výhodné jej použít pro přímé řízení kontroléru krokového motoru pohánějícího servořízení. V tomto případě pak bude výhodné uložit v paměti kontroléru pouze inicializační příkazy prováděné po spuštění systému, a ovládací příkazy pak zasílat přímo z nadřazeného systému. Příkazy budou odesílány na základě zpracovaných vstupních požadavků, které budou zasílány po komunikační sběrnici CAN z jednotky dálkové komunikace. Zpracování příkazů bude řešeno přímo v nadřazeném systému v podobě běžícího řídicího programu.

Nadřazený systém bude propojen s kontrolérem pomocí sériového komunikačního rozhraní RS485. Oba systémy budou napájeny z napájecího zdroje. Nadřazený systém je napájen zdrojem o velikosti napájecího napětí 5 VDC. Kontrolér je napájen zdrojem s velikostí napětí max. 40 VDC.

Kontrolér zpracovává signály z enkodéru (Inkrementálního snímače) a optické závory. Enkodér slouží kontroléru ke sledování aktuální polohy motoru a k porovnávání dosažené polohy motoru s hodnotou zadanou. Optická závora je využívána při inicializaci počáteční polohy posuvného vozíku lineárního pohonu. Informace z enkodéru společně s vlastním stavem může kontrolér zasílat po komunikačním rozhraní RS485 do nadřazeného systému. Po tomto rozhraní je také zasílána zpětná vazba o stavu přijatých příkazů.

Další funkční rozšíření je provedeno pomocí koncových optických snímačů krajních poloh. Informace z těchto snímačů jsou zasílány přímo do nadřazeného systému, který je zpracovává a omezuje pohyb vozíku lineárního vedení.

Principiální blokové schéma zapojení a toku informací navrhovaného systému servořízení vidíme na obr. 30.

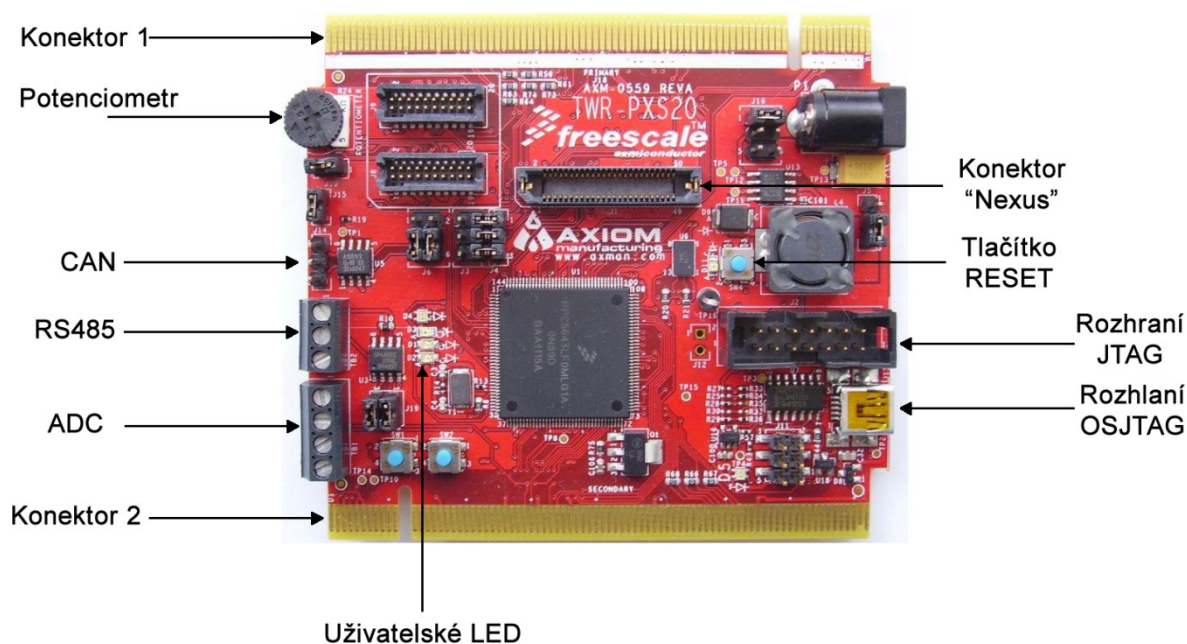


Obr. 30 Schéma propojení systému servořízení s nadřazeným systémem

11.1 Modul TWR PXS2010

Modul TWR PXS2010 je součástí portfolia Freescale Tower System společnosti Freescale. Jedná se modulární vývojovou platformu umožňující rychlý vývoj prototypu a jeho ladění. Zároveň je také tento systém velice efektivní tím, že může být znovu použit a rekonfigurován ať již pouze softwarově, nebo i hardwarově. Jednotlivé hardwarové konfigurace lze skládat a kombinovat pomocí tzv. „elevator board“, jež slouží k propojení

jednotlivých desek. Deska může pracovat také samostatně bez dalších modulů. Modul TWR PXS20 v našem případě tvoří vestavný řídicí systém.



Obr. 31 Deska TWR PXS20[11]

Parametry TWR PXS20[11]:

CPU:

- Jádru: 2 x e200z4.
- Operační rychlost: až 120 MHz.
- Výkon: více než 240 MIPS.

Sběrnice

- Sběrnice jádra: AHB, 32-bitů pro adresování, 64-bitů pro data.
- Vnitřní sběrnice periférií: 32-bitů pro adresování, 32-bitů pro data.

Paměť

- Flash paměť pro data/kód: 1 MB, ECC, RWW.
- Statická RAM paměť: 128 KB, ECC.

Moduly

- Ovladač přerušení: 16 úrovní.
- PIT: 1 x 4 kanály.
- Systémový časový modul: 1 x 4 kanály.
- eDMA: 16 kanálů.
- FlaxRay: 1 x 64 zprávový buffer.

Odpor R10 je terminační (zakončovací) odpor, který zabraňuje odrazům zpráv v místě připojení zařízení. Tyto odrazy zpráv se šíří po lince, a tak narušují komunikaci.

Odpory RN2A a RN2B definují klidové stavy vodičů A a B v době, kdy není na lince vysílána žádná zpráva, a mohlo by dojít k indukování napětí. Tímto zapojením je dosaženo v klidovém stavu vyšší úrovně na vodiči A a nižší úrovně na vodiči B.

Komunikační linka RS485 je vyvedena na DPS konektorem TB2. Kanál A je připojen k pinu 1, kanál B k pinu 2 a uzemnění (GND) k pinu 3.

11.2 Freescale MQX

MQX je operační systém pracující v reálném čase. Byl vyvinut pro jednoprocessorové a víceprocesorové vestavné řídicí systémy reálného času a také pro vestavné řídicí systémy s distribuovanou sítí procesorů. MQX obsahuje provozní knihovnu funkcí (runtime library), kterou programy využívají k vytvoření na sobě nezávislých aplikací běžících v reálném čase. Hlavní výhodou je škálovatelná velikost, architektura orientovaná na komponenty a jednoduchost použití.

MQX podporuje víceprocesorové aplikace a může být použito v kombinaci s nejrůznějšími vestavnými zařízeními v oblasti sítí, datové komunikace a souborové obsluhy.[13]

12. Obslužný program

Běžící obslužný program servořízení v nadřazeném systému na základě přijatých požadavků na řízení sestavuje příkazy, které jsou odesílány do kontroléru R356, a získává informace odesílané z kontroléru. Dále program obsluhuje řízení komunikace na sběrnici RS485, řídí zápis a čtení zpráv.

12.1 Funkce pro inicializaci R356, zápis a čtení na RS485

Pro ovládání směru komunikace slouží výstupy procesoru č. 12 a č. 51. Jejich inicializace a nastavení hodnot je provedeno pomocí funkcí *lwgpio_init* a *lwgpio_set_value*. Při čtení jsou oba výstupy v *LOW* a při zápisu oba výstupy v *HIGH*.

Je definováno zařízení RS485.

```
#define RS485_CHANNEL "itty:"
```

Jsou definované funkce pro inicializaci, zápis a čtení na sběrnici, funkce pro přepočet

```
void rs485_init();  
void write_rs485_data();  
void angle_to_pulse();
```

a globální proměnné.

```
uint_32 baud_rate_init = 9600;           // default baud rate of R356  
uint_32 baud_rate = 38400;              // baud rate value  
char data_buffer_read[32];  
char data_buffer_write[5]={0x30,0x30,0x30,0x30,0x30};  
char address[] = "/1A";                 // adress of the controller  
char end_of_comm[] = "R\n\n";           // end of the command  
uint_16 velocity;                       // received velocity value  
double angle;                           // received angle requirement
```

Inicializace výstupů procesoru pro řízení směru komunikace a inicializace kontroléru R356 je provedena pomocí funkce *rs485_init()*.

```
lwgpio_init(&rx_en, 12, LWGPIO_DIR_OUTPUT, LWGPIO_VALUE_NOCHANGE);  
lwgpio_init(&tx_en, 51, LWGPIO_DIR_OUTPUT, LWGPIO_VALUE_NOCHANGE);
```

Následuje nastavení směru komunikace pro zápis.

```
lwgpio_set_value(&rx_en, rs485_write);  
lwgpio_set_value(&tx_en, rs485_write);
```

Poté je potřeba otevřít kanál RS485. To je provedeno funkcí *_io_fopen()*.

```
rs485_dev = fopen( RS485_CHANNEL, NULL );
```

Dále je nastavena přenosová rychlost (baud rate) pomocí makra *_io_ioctl* a funkce *IO_IOCTL_SERIAL_SET_BAUD*. Hodnota je nastavena globální proměnnou *baud_rate_init*.

```
ioctl(rs485_dev, IO_IOCTL_SERIAL_SET_BAUD, &baud_rate_init);
```

Poté následuje zápis inicializačního příkazu z proměnné *data_buffer_init*.

```
write( rs485_dev, data_buffer_init, strlen(data_buffer_init));
```

Dále následuje čekání na potvrzení odeslání zprávy.

```
/* wait for transfer complete flag */  
ioctl( rs485_dev, IO_IOCTL_SERIAL_WAIT_FOR_TC, NULL );
```

Funkce **rs485_init()** slouží k inicializaci výstupů procesoru a základnímu nastavení kontroléru R356. Během inicializace proběhne nastavení rychlosti komunikace po RS485, nastavení převodního poměru enkodéru, vynulování čítačů polohy motoru a enkodéru, nastavení základní rychlosti otáčení motoru, nastavení pásma necitlivosti počtu opakování pro funkci korekce polohy, spuštění funkce korekce polohy a otočení motoru do výchozí polohy v absolutním počtu pulsů.

Příklad funkce **write_rs485_data()** pro odesílání obsahu proměnné *data_buffer_write* a vyčtení odezvy kontroléru. Nejprve je potřeba přepnout směr komunikace na vysílání.

```
lwgpio_set_value(&rx_en, rs485_write);  
lwgpio_set_value(&tx_en, rs485_write);
```

Je proveden zápis adresy kontroléru z proměnné *adress*.

```
/* write adress */  
write( rs485_dev, adress, strlen( adress));
```

Následuje zápis příkazu pro kontrolér z proměnné *data_buffer_write*

```
/* write data */  
write( rs485_dev, data_buffer_write, strlen(data_buffer_write) );
```

a nakonec je zpráva ukončena ukončovacím znakem z proměnné *end_of_comm*.

```
/* write end of command */  
write( rs485_dev, end_of_comm, strlen( end_of_comm) );
```

Následuje čekání na potvrzení odeslání zprávy.

```
/* wait for transfer complete flag */  
ioctl( rs485_dev, IO_IOCTL_SERIAL_WAIT_FOR_TC, NULL );
```

Poté je přepnut směr komunikace na příjem

```
lwgpio_set_value(&rx_en, rs485_read);  
lwgpio_set_value(&tx_en, rs485_read);
```

a je vyčtena odezva kontroléru, která je zapsána do proměnné *data_buffer_read*.

```
/* read data */  
fread(data_buffer_read, 1, 4, rs485_dev);
```

Funkce *write_rs485_data()* slouží k odeslání příkazů obsažených v proměnné *data_buffer_write* do kontroléru R356. Příkazy jsou odesílány na sběrnici RS485 a zpětně je přijímána odezva kontroléru R356 na odeslaný příkaz. Odezva je ukládána do proměnné *data_buffer_read* a může být dále zpracována.

12.2 Funkce pro výpočet příkazu na základě požadavků

Funkce *angle_to_pulse()* slouží k přepočtu zadaného požadovaného úhlu *angle* na počet pulsů motoru *pulse_write*. Tato hodnota je vložena do proměnné *data_buffer_write* a zapsána pomocí funkce *write_rs485_data()*.

Dále bylo nutné vyřešit problém se zápisem dat, která byla v proměnné *pulse_write* jako číselné hodnoty. Tyto hodnoty není možné přímo ukládat do proměnné *data_buffer_write*. Proměnná *data_buffer_write* totiž zapisuje znaky v hexadecimálním tvaru a v našem případě zápis neproběhl dle požadavků. Do proměnné *data_buffer_write* není možné vložit hodnotu ve formě řetězce přímo, ale hodnota musí být rozdělena po jednom znaku a přiřazena na určitou pozici v proměnné. K tomuto účelu bylo vytvořeno pole *char char_to_ASCII* obsahující vyjádření číslic z ASCII tabulky do hexadecimálního tvaru. Pomocí pole je tak k jednotlivým prvkům hodnoty přiřazena jejich podoba v hexadecimálním zápisu. Jednotlivé znaky jsou do proměnné *data_buffer_write* vkládány po jednom na dané pozice. Poté může být obsah proměnné odeslán k zápisu.

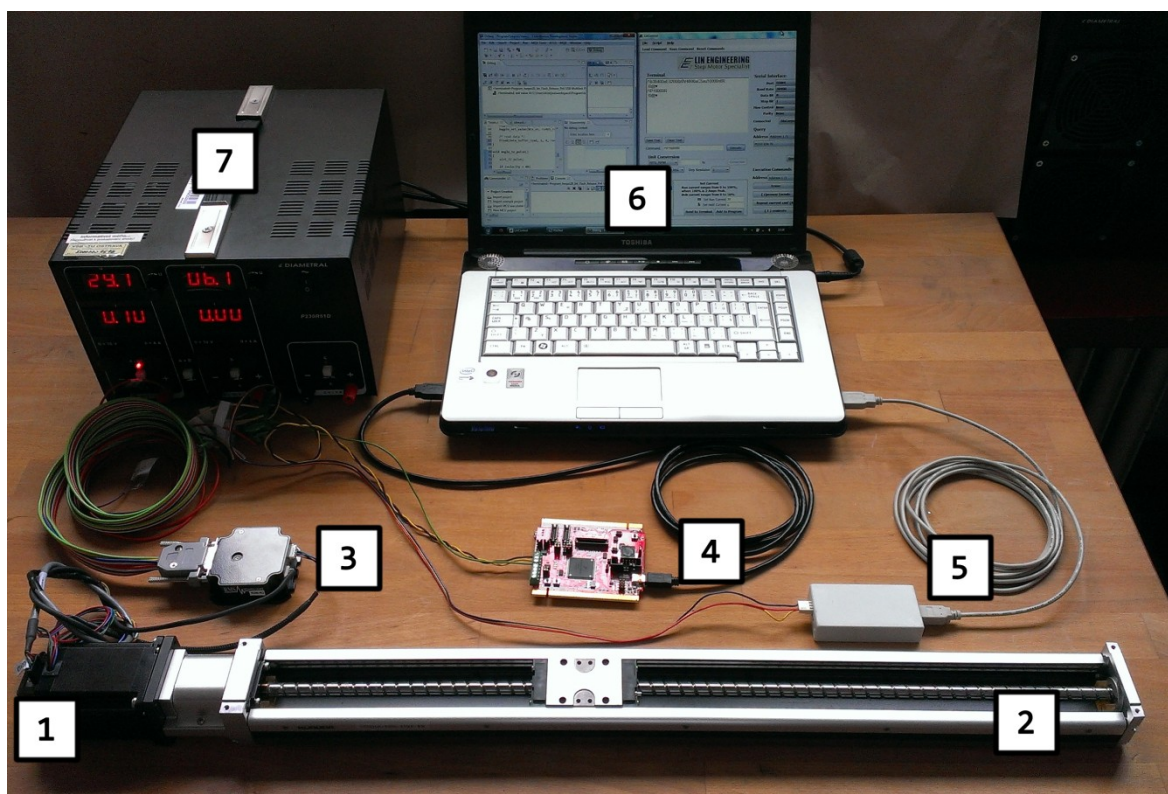
13. Sestava servořízení

Na obr. 33 můžeme vidět kompletní sestavu servořízení s nadřazeným řídicím systémem. Sestava servořízení se skládá ze základních částí, které byly v této práci popsány:

1. Krokový motor LIN ENGINEERING 5718L-01P.
2. Lineární vedení Kuroda SG3305A-400P.
3. Kontrolér RMS TECHNOLOGIES R356.
4. Nadřazený systém Freescale TWR PXS2010.

K napájení, programování příkazů a sledování komunikace jsou využity další prostředky:

5. Převodník RS485 / USB.
6. PC s programovacím rozhraním Freescale CodeWarrior a rozhraním LIN Control.
7. Napájecí zdroj.



Obr. 33 Sestava servořízení

14. Možnosti další integrace servořízení do struktury vozidla

Možnosti rozšíření funkcí servořízení a jeho hlubší integrace do struktury vozidla spočívají v optimalizaci obslužného programu. Jelikož chování řízení je dáno komponenty a mechanismem servořízení ve spojení s vlastnostmi vozidla, je nutné adaptovat řídicí program dle požadavků až po montáži servořízení do vozidla. V ten okamžik se můžeme zabývat jednotlivými vlivy a dynamickými účinky na servořízení. Takto experimentálně získané informace o chování servořízení připojeném k vozidlu poslouží právě k účelům přizpůsobení řídicího programu.

Jako nejvýznamnější pole možností přizpůsobení programu vzniklým situacím je oblast volby zrychlení a rychlosti nastavení požadovaného úhlu natočení kol. V závislosti na rychlosti vozidla je možné měnit tyto parametry, a tím docílit plynulé, rychlé, avšak neskokové nastavení požadovaného úhlu natočení řídicích kol. To je provedeno na základě přijímané informace o požadovaném úhlu natočení a informaci o aktuální rychlosti vozidla. Uvedme například dvě situace. Vozidlo se pohybuje nízkou rychlostí. Na základě informace o rychlosti vozidla a požadovaném úhlu natočení kol bude zvoleno vysoké zrychlení a rychlost otáčení motoru řízení. Požadovaný úhel se tedy nastaví za krátkou dobu. Naopak pokud se vozidlo pohybuje vysokou rychlostí, je nežádoucí, aby se požadovaný úhel nastavoval rychle. V takovém případě je nutné na základě aktuální rychlosti vozidla přizpůsobit velikost zrychlení a rychlosti otáčení motoru řízení, a tím i zrychlení a rychlost přestavení řízení. Velikost zrychlení a také rychlost otáčení motoru řízení bude nižší, než v předešlém případě. Tím je docílena větší plynulost pohybu vozidla v oblouku.

Další oblasti přizpůsobení programu budou známy až při vlastním testování chování servořízení ve spojení s vozidlem.

15. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat elektronické servořízení. V úvodu práce byl proveden základní popis využívaných systémů řízení. Na základě tohoto popisu byla navržena a vybrána koncepce servořízení, která bude nejvíce vyhovovat požadavkům pro realizaci servořízení na čtyřkolovém vozidle. Dále byl zvolen typ pohonu servořízení a způsob jeho řízení. Následující část se zabývala teoretickým popisem jednotlivých komponentů budoucího servořízení.

V následující části byl proveden výpočet sil a momentů, které budou na řízení působit. Při výpočtech bylo nutné zohlednit, že nebyly známy parametry čtyřkolového vozidla. Z tohoto důvodu byly vstupní informace pro výpočty odhadnuty na základě zkušeností nebo získány z podobných konstrukcí vozidel. Dle výsledků bylo rozhodnuto o parametrech jednotlivých součástí servořízení.

Další část práce se zabývala popisem zvolených částí servořízení. Jednotlivé komponenty servořízení byly detailně popsány, byl proveden rozbor jejich funkce a také popis jejich zprovoznění. V této části práce se ukázaly některé informace od výrobců zařízení jako chybné a bylo nutné provést dodatečný rozbor funkcí. Při tomto rozboru byly zjištěny informace, které vedly ke správnému nastavení a zprovoznění součástí.

Po zprovoznění jednotlivých částí systému servořízení bylo nutné systém servořízení složit do jednoho funkčního celku a vytvořit obslužný řídicí software. Řídicí software je tvořen řídicím programem, který běží společně s obslužným softwarem v nadřazeném řídicím zařízení. Obslužný software je dodáván výrobcem řídicího zařízení a řídí jeho běh. Pro řízení pohonu tak byl vytvořen řídicí program. Řídicí program je složen z několika funkcí, které vykonávají základní úlohy. I v této části práce bylo nutné řešit nekompletní nebo chybějící informace od výrobce.

Závěr práce se zabývá možností přizpůsobení servořízení vozidlu, na kterém bude instalováno. Dále je proveden návrh rozšíření funkcí servořízení.

Tato práce splnila všechny body zadání, a tak je k dispozici funkční systém servořízení, který je možné instalovat na vozidlo. Je tak možné provádět jeho adaptaci a přizpůsobení bez nutnosti řešení dílčích problémů, které se v průběhu jeho návrhu vyskytly.

16. Citovaná literatura

1. Vlk, František. *Podvozky motorových vozidel*. Brno : Prof. Ing Franišek Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 80-239-6464-X.
2. Aktivní mechanismus řízení: První krok k Steer by Wire. *Bosch Česká republika*. [Online] [Citace: 25. 4 2013.] http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=274.
3. Neborák, J. *Mechatronické systémy*. Ostrava : Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB - TU Ostrava, 2009.
4. LIN Engineering. [Online] 2013. [Citace: 15. 3 2013.] <http://www.linengineering.com/LinE/>.
5. Brandštetter, Pavel. *Mikropočítačové řídicí systémy II*. Ostrava : Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010.
6. Kuroda Precision Industries. [Online] 2013. [Citace: 29. 3 2013.] <http://www.kuroda-precision.com/index.htm>.
7. Servo-drive. *Krokové motory - Rotační krokové motory*. [Online] [Citace: 17. 4 2013.] http://www.servo-drive.com/krokov_e_motory.php.
8. Bosňák, I. *Anglicko-český a česko-anglický elektrotechnický slovník*. Ostrava : Montanex, 2003. 80-7225-069-8.
9. Servo-drive. *R356 User manual*. [Online] 29. 10 2009. [Citace: 17. 3 2013.] http://www.servo-drive.com/pdf_catalog/manual_r356.pdf.
10. Lin Engineering. *Lin Control GUI manual*. [Online] 18. 5 2009. [Citace: 29. 3 2013.] http://www.linengineering.com/LinE/contents/stepmotors/pdf/LinControl_Manual.pdf.
11. Freescale. *Freescale TWR PXS20*. [Online] 2013. [Citace: 19. 4 2013.] http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=TWR-PXS2010.

12. Freescale. *Freescale TWR-PXS20 Schematics*. [Online] 16. 8 2011. [Citace: 26. 4 2013.] http://cache.freescale.com/files/32bit/hardware_tools/schematics/TWR-PXS20_SCH.pdf?fr=gtl.

13. Freescale. *MQX User Guide*. [Online] 4 2011. [Citace: 19. 4 2013.] http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/user_guide/MQXUG.pdf?fsrch=1&sr=1.

17. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Seznam řídicích příkazů pro kontrolér R356

Příloha č. 2 – Rozměry lineárního vedení Kuroda SG3305A-400P